Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Physiologische horizontale Mikropulsationen des Zahnes, der Papille und der marginalen Gingiva

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Harald Josef Doms
aus Reichenberg/Sud.

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0104

Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Physiologische horizontale Mikropulsationen des Zahnes, der Papille und der marginalen Gingiva

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Harald Josef Doms
aus Reichenberg/Sud.

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. M. Hofmann

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich

Gesamtherstellung:
FOTODRUCK PRÄZIS B. v. Spangenberg KG
Tübingen

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einteilung und Problemstellung	1
II. Theoretische Vorbemerkungen	3
1. Entstehung der Pulswelle	3
2. Diskussion der Pulskurven	4
a) Zentraler Puls	4
b) Peripherer Puls	4
3. Technische Voraussetzungen des Registriersystems	5
III. Angewandte Meßmethodik	6
1. Der Pulsabnehmer	6
2. Das Registriergerät	7
3. Die Trägerschiene	9
IV. Eigene Untersuchungen	11
1. Untersuchungsbedingungen	11
2. Die horizontalen Pulsationsbewegungen	11
a) der Parodontalpuls	11
b) der papilläre und der marginale Gingivapuls	11
3. Die Blutdruckmessung	12
4. Auswertungsmethodik	12
5. Statistische Auswertung der Versuchsreihen	15
V. Untersuchungsergebnisse	16
a) der Parodontalpuls	16
b) der papilläre Puls	16
c) der marginale Puls	16
d) die Blutdruckmessung	17
e) Die Beziehung zwischen Blutdruck und Pulsperiode	17
VI. Diskussion der Untersuchungsergebnisse	24
VII. Zusammenfassung	32
VIII. Tabellarische Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse	33
IX. Literaturverzeichnis	45
Lebenslauf	

I. EINTEILUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die wissenschaftliche Parodontologie besitzt in der Messung der Zahnbeweglichkeit ein modernes diagnostisches Hilfsmittel. Ein Überblick über die Methoden von *H. Heinroth (6), V. Werner (32), E. Zwirner (33, 34, 35, 36), K.Beyeler (1)* und *H.R. Mühlemann (22, 23, 24), C. Lundquist (19), D.C.A. Picton (29),G.J. Parfitt (26, 27)* und *M. Hofmann (7, 8, 9, 10, 11, 12)* und *K.H. Körber (15, 16, 17)* u.a. zeigt, daß sie immer verfeinerter, aber auch komplizierter wurden.

Es ist jedoch nicht einfach, trotz theoretisch und physikalisch klar durchdachter Apparaturen, zu sicheren Meßergebnissen zu kommen. Die Schwierigkeiten sollen hier nicht im einzelnen aufgeführt werden, sie liegen vor allem in der komplizierten Mechanik der Befestigungs- und Einstellapparatur. Eine Meßmethode ist aber nur dann wirklich brauchbar, wenn sie jederzeit unter gleichen Voraussetzungen reproduzierbare Ergebnisse liefern kann. Gerade die Periodontometrie hat gezeigt, wie wichtig diese Grundvoraussetzung ist, will man keinen Täuschungen unterliegen *(7).*

In jüngster Zeit ist es *K.H. Körber (17), M. Hofmann (8, 9)* und *M. Hofmann - R. Diemer (10,12)* möglich gewesen, die Kenntnisse über den Funktionsmechanismus des Zahnhalteapparates durch moderne elektronische Meßverfahren wesentlich zu erweitern und mit Hilfe der Periodontographie die biophysikalischen Änderungen des Periodontiums objektiv und reproduzierbar zu erfassen. Wird nämlich ein Zahn linearprogressiv belastet und anschließend schlagartig entlastet, so entsteht eine typische Be- und Entlastungskurve (Parodontogramm) *(12).* So konnte u.a. nachgewiesen werden, daß bei der sog. „freien Rückstellung" der Zahn nach einem anfänglich sehr schnellen Abfall langsam in Absätzen in seine Ausgangslage zurückkehrt. Dieses Zurückpumpen des Zahnes erfolgt pulssynchron und entspricht der Wiederherstellung des normalen hydrostatischen Druckes innerhalb des Periodontalraumes. Bei sehr hoher Verstärkung der elektronischen Registriergeräte konnte beobachtet werden, daß der Zahn nach der Rückkehr in seine „Ruhelage" um eine senkrecht zu seiner Längsachse verlaufende Achse ebenfalls pulssynchrone „Pendelbewegungen" ausführt *(12).*

Ausgehend von dem Phänomen, nämlich, daß der Zahn nach Entlastung in pulssynchronen Absätzen langsam in seine Ausgangslage zurückkehrt, gelang es *K.H. Körber (16, 17)* und *M. Hofmann (8, 9, 12)* unabhängig voneinander und mit verschiedenen Methoden, den Nachweis zu erbringen, daß der Zahn in seiner Alveole herzschlagsynchrone Schwankungen ausführt *(11).*

Mit Hilfe eines photoelektrischen Wandlers brachte *K.H. Körber (16,17)* außer dem Parodontalpuls auch noch den marginalen Gingivapuls zur Darstellung. Das Verfahren ist sehr aufwendig. Die Registrierung erfolgt über Kathodenstrahloszillograph und Polaroidkamera *(11).*
M. Hofmann und *R. Diemer (11)* haben in Zusammenarbeit mit dem Institut Dr. Förster, Reutlingen, ihr Meßverfahren verfeinert. Neben der Darstellung des Parodontalpulses sind sie in der Lage, mit demselben Gerät auch die Mikropulsation der Papille und diese der marginalen Gingiva amplitudengetreu und in natürlicher Größe fort-

laufend aufzuzeichnen, da eine Eichung im Gegensatz zu lichtelektronischen Aufnehmern möglich ist *(K. Matthes (21)) (11).*

Da die Erfassung und Auflösung dieser Pulsationen unter Umständen einen Einblick in Größe und Charakter der parodontalen Blutversorgung bietet, befaßt sich die vorliegende Arbeit mit der Grundform und Analyse des Parodontalpulses, des papillärer und marginalen Pulses bei klinisch als gesund erscheinenden Parodontien.

II. THEORETISCHE VORBEMERKUNGEN

1. Entstehung der Pulswelle

Die Drucksteigerung im linken Ventrikel während jeder Systole ist die Ursache der Pulswelle. Die Aortenwurzel wird dabei gedehnt, die so entstehende Schlauchwelle läuft über den gesamten Arterienbaum bis zu den Arteriolen. Die Volumenänderung einer Arterie ist somit ein äußerlich sichtbarer Ausdruck der unsichtbaren Fortbewegung des erhöhten Drucks im Innern. Der weitaus größte Teil der in der Schlauchwelle sich fortpflanzenden Energie ist potentieller Art (97,2% potentielle, 2,8% kinetische Energie). Bei der Pulswelle handelt es sich um eine Druckwelle, die durch jede Systole ausgelöst wird *(2)*.

A. Müller (25) konnte durch direkte, mikroskopische Beobachtungen zeigen, daß die Strömung des Blutes in den Kapillaren kontinuierlich ohne herzsynchrone Pulsation erfolgt. In den Arteriolen wird die Energie der als primäre, rechtläufige Welle bezeichneten Schlauchwelle teilweise in kontinuierliche Strömung umgewandelt, ein anderer Teil als rückläufige Welle reflektiert. Die rückläufigen Wellen aus den verschiedenen Körperregionen vereinigen und überlagern sich in den größeren Gefäßen und werden in der Aortenwurzel wiederum als sekundärrechtläufige Wellen zurückgeworfen, da sich die Aortenklappen in der Zwischenzeit geschlossen haben. Primär rechtläufige Wellen und sekundär rechtläufige Wellen sind als im wesentlichen gleichartige Vorgänge *(v. Recklinghausen,H. (30)) (2)*.

Da die Arteriolen verschieden weit vom Herz entfernt liegen (Herzarteriolen-Arteriolen der Gingiva), treffen die rückläufigen Wellen mit einer zeitlichen Differenz in den großen Gefäßen ein, so daß sich dort aus rückläufigen und sekundär rechtläufigen Wellen ein Gewoge mit gleichmäßigem Anstieg und Abfall ausbildet. Da das Gewoge nicht in allen Gefäßen gleiches Niveau besitzt, suchen sog. Gewogewellen dies noch auszugleichen. Der primären Welle eilen noch Schwingungen voran, die *O. Frank (4)* beschrieben und primäre Beiwellen bezeichnet hat. Sie werden eingeteilt in:

1. Vorschwingung: Durch die Kontraktion des linken Atriums wird Blut in den linken Ventrikel geworfen. Dieses Blut prallt gegen die noch geschlossenen Aortenklappen und buchtet sie kurz aus. Die erste Vorschwingung erscheint auf dem Sphygmogramm als leichte Erhebung.
2. Vorschwingung: Durch die Kontraktion des linken Ventrikels werden die noch geschlossenen Aortenklappen ebenfalls ausgebuchtet. Auf dem Sphygmogramm erscheint die zweite Vorschwingung ebenfalls als Erhebung.

Anfangsschwinung: Durch die Ventrikelkontraktion bei geöffneten Aortenklappen kommt das Herz als Ganzes zum Schwingen. Dies ergibt einen leichten Einschnitt im Sphygmogramm.

Inzisur: Nachdem der Ventrikel alles Blut ausgeworfen hat, erschlafft die Muskulatur wieder, die Aortenklappen schließen sich und werden ventrikelwärts ausgebuchtet. Dabei fließt Blut in Richtung Ventrikel. Auf dem Sphygmogramm er-

scheint die Inzisur als deutliche Kerbe *(2).*

2. Diskussion der Pulskurven

a) Zentraler Puls

aa) Systolischer Abschnitt:

Die Form der zentralen Pulskurve im systolischen Abschnitt wird in erster Linie von der primären Welle geformt, die nichts anderes als die Ventrikeldruckkurve darstellt. Der Hauptanstieg ist steil. Vor dem systolischen Gipfel kann man oft eine anakrote Schulter finden, deren Entstehung unklar ist. *O. Frank (3,4)* nimmt eine Reflektion an der Schädelbasis an, *K. Hürthle (13)* macht die von der Herzaktion unabhängige Wandwelle dafür verantwortlich und *L.H. Peterson (28)* diskutiert die Trägheit der Blutsäule als Ursache. Der Gipfel des zentralen Pulses liegt früh in der Systole. Über eine katakrote Schulter fällt nun die Kurve zur Klappeninzisur ab. Systolischer Gipfel und katakrote Schulter bilden das von *Marey (20)* beschriebene Plateau. Die katakrote Schulter soll nach *O. Frank (3,4), E. Wetterer* und *B. Deppe (31)* durch reflektierte Wellen aus der Aorte entstehen, welche sich dem systolischen Gipfel überlagern *(2).*

bb) Diastolischer Abschnitt:

Nachdem die Aortenklappen geschlossen sind (durch Inzisur markiert), fällt der Druck in den Arterien ab, aber erst nachdem er kurzfristig erhöht wurde. Dieser Druckanstieg im diastolischen Abschnitt des zentralen Pulses bezeichnet man nach *v. Kries (18)* als Nebenschlag. Sind systolischer und diastolischer Gipfel zeitlich weit getrennt, so spricht man von einem dikrotischen Puls. Die Ursachen des Nebenschlags sind folgende: Der Nebenschlag ist der Gipfel des Gewoges. In herznahen Arterien trifft die Hauptmenge der rückläufigen Wellen erst ein, wenn die primäre Welle dort bereits vorüber ist. Das bei Aortenklappenschluß zum Ventrikel zurückfließende Blut prallt auf die geschlossenen Aortenklappen und wird reflektiert. Als dritte Ursache kommt nach *K. Hürthle (13)* noch die rhythmische Aktivität der Arterienwand in Betracht, die besonders in der Diastole bei Druckabfall eintritt. Bei der Pulsregistrierung an der oberen Körperhälfte läßt sich im Sphygmogramm gegen Ende der Diastole noch ein Nachschlag erkennen. Nachdem das lokale Gewoge abgeebt ist, zeigt dieser Nachschlag die Ankunft der Gewogewelle an *(2).*

b) Peripherer Puls

Der periphere Puls unterscheidet sich grundsätzlich vom zentralen. Er ist abgerundet, die Klappenschlußinzisur fehlt und das Kurvenbild wird von zwei großen Wellen bestimmt, dem systolischen Gipfel und der Dikrotie. Der Hauptanstieg ist ebenfalls steil und geht ohne Unterbrechung und ohne anakrote Schulter in den Pulsgipfel über. Vom Pulsgipfel zieht die Kurve in ein Tal, das rund und glatt verläuft und

nichts mit der Klappenschlußinzisur des zentralen Pulses zu tun hat. Ihm schließt sich dann die kräftige Dikrotie an *(2)*.

Abschließend sei noch bemerkt, daß beim peripheren Puls der systolische Druck höher und der diastolische Druck niedriger liegt als beim Puls der Aortenwurzel. Da die Dehnbarkeit der Gefäße abgenommen hat, muß bei gleicher Volumenänderung im härteren System eine größere Druckamplitude auftreten *(2)*.

3. Die technischen Voraussetzungen des Registriersystems

Bei der unblutigen Schreibung des Arterienpulses muß die registrierende Apparatur nach *E. Gadermann - H. Jungmann (14)* folgende Bedingungen erfüllen:

1. genügende Empfindlichkeit
2. hohe Eigenfrequenz
3. formgetreue Wiedergabe

Ad 1: Die pulsatorischen Bewegungen der Arterien müssen mit genügender Verstärkung wiedergegeben werden. Die Verstärkungsgröße richtet sich nach Art und Ort der Registrierung und ist bei allen gebräuchlichen Registriersystemen ausreichend.

Ad 2: *O. Frank (4)* fordert, daß die Eigenfrequenz höher liegen muß als die höchste Schwingungsfrequenz, die aufgezeichnet werden soll. Um Feinheiten, wie Druckanstiegsschwingungen und Form der Klappenschlußinzisur zu registrieren, sollte das Gerät eine Eigenfrequenz von über 100 Hz besitzen.

Ad 3: Eine formgetreue Wiedergabe der Pulsform ist für die Beurteilung und Auswertung unumgänglich. Ein Kriterium dafür stellt die Zeitkonstante des elektrischen Systems dar. Man versteht darunter die Zeit, in der die Registrierkurve bei gleichbleibendem Druck auf den Pulsfühler vom höchsten Punkt des Ausschlags bis auf 37% der Ausschlagshöhe absinkt. Sie sollte bei der Pulsregistrierung wenigstens 1,5 sec. betragen.

Das in Zusammenarbeit mit der Firma Dr. Foerster entwickelte Registriersystem weist folgende technische Daten auf:

1. Die vom Wegaufnehmer zurückgelegten Strecken können in 100 000facher Verstärkung wiedergegeben werden. Die geforderte Empfindlichkeit ist also erreicht.
2. Die Eigenfrequenz liegt bei ca. 200 Hz und somit weit höher als die zu registrierenden Frequenzen, die *Frank (3)* mit ca. 40–80 Hz angibt.
3. Die Zeitkonstante beträgt 1,8 sec. Die Mindestforderung von 1,5 sec. ist erfüllt und eine exakte Pulsregistrierung kann durchgeführt werden *(2)*.

III. ANGEWANDTE MESSMETHODIK

Die im Rahmen dieser Dissertation angewandte Meßmethodik wurde von *M. Hofmann* entwickelt und *R. Diemer (2)* beschrieben.

1. Der Pulsabnehmer:

Er stellt seiner Wirkungsweise nach ein elektromechanisches Wandlersystem auf induktiver Basis dar. Die Prinzipskizze zeigt Abb. 1

Zahnarzt. Institut Ho.

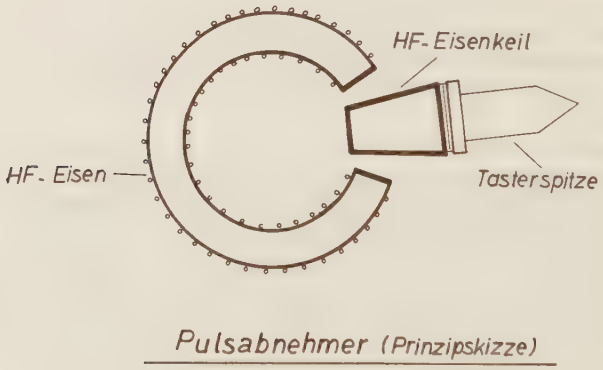


Abb. 1 Prinzipskizze des Pulsabnehmers

Eine feine Saphirnadel mit einem Auflagedruck von 0,09 p nimmt kleinste Wegänderungen auf, die der Abnehmer in elektrische Spannungen umsetzt, welche der Tasternadelbewegung exakt proportional sind. Um ein Verkanten in Schmelzrisse zu verhindern, wurde das Nadelende abgerundet. Der Spitzenradius beträgt 400 μ. Der Pulsabnehmer hat die Maße 12 x 9 x 6 mm (Abb. 2).

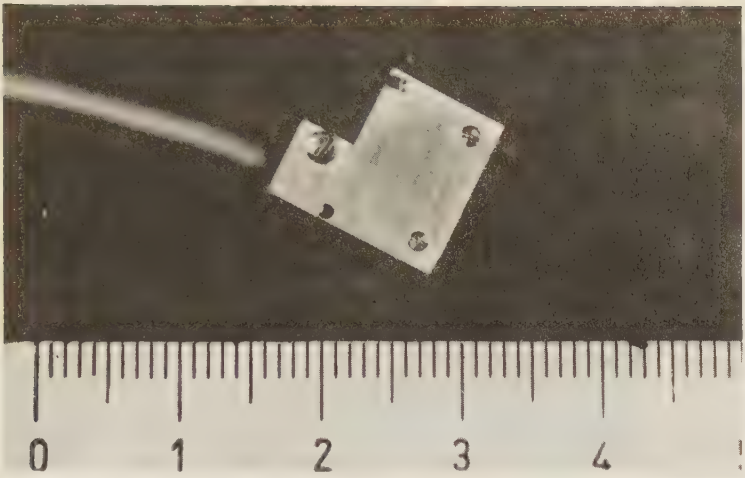


Abb. 2 Pulsabnehmer

Zwei Bohrungen gestatten es, den Abnehmer auf einem Miniaturtrieb exakt mit Schrauben zu fixieren.

2. Das Registriergerät:

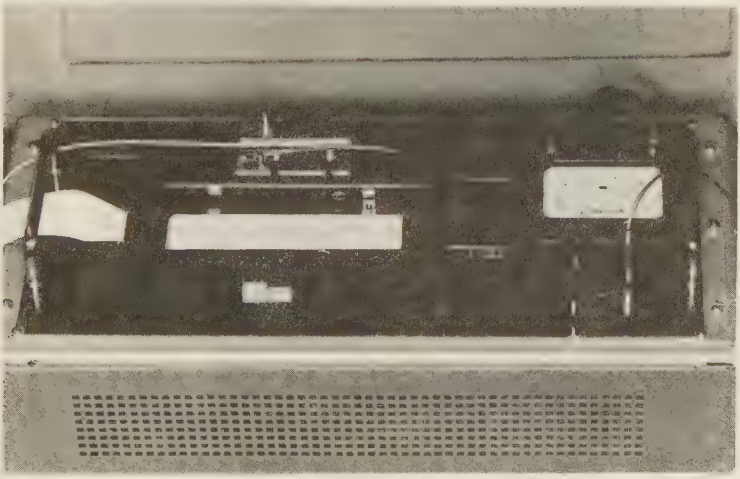


Abb. 3 Das Registriergerät

Es enthält (Abb. 3):

1. Ein Zeigerinstrument, das die Eintauchtiefe der Tasternadel anzeigt.
2. Einen Geschwindigkeitsregler für den Registrierbandvorschub. Die Geschwindigkeit kann in 4 Stufen eingestellt werden:

1. Stufe	Dehnung	10 mm/sec.
2. Stufe	Dehnung	20 mm/sec.
3. Stufe	Dehnung	50 mm/sec.
4. Stufe	Dehnung	100 mm/sec.

3. Einen Umschalter für 6 Meßbereiche. Bei Stufe 6 kann eine 100 000fache Verstärkung erreicht werden.

Als Registrierstreifen wird 30 mm breites thermosensitives Spezialpapier mit weißer Kunststoffschicht verwendet.

Die vom Pulsabnehmer kommenden niederfrequenten Spannungen werden im Verstärker einem hochfrequenten Schwingungskreis aufmoduliert. Nach Gleichrichtung der hochfrequenten Trägeramplitude werden die Schwingungen über einen geeichten Spannungsteiler einem Impulsverstärker zugeführt und von einem Schnellschreiber aufgezeichnet. Die aufgezeichneten Werte sind amplitudengetreu. Durch die elektronische Steuerung des Tasternadelpunktes lassen sich die Messungen jederzeit reproduzieren (Abb. 4).

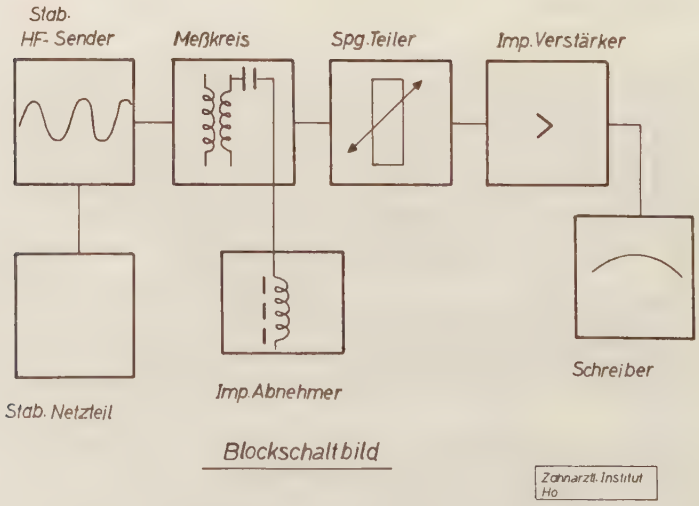


Abb. 4 Blockschaltbild des Registriergerätes

3. Die Trägerschiene:

Bei der praktischen Durchführung der Registrierung am Patienten wird dem Probanden eine profilierte Trägerschiene aus Hartaluminium eingesetzt. Als Bindemittel wird eine Mischung von Alabaster- und Abdruckgips verwendet. Die nicht zu messenden Zähne des Kiefers werden zu einem unverschieblichen Block zusammengefaßt und versteift. Die Schiene trägt einen Außenbügel, auf welchem der Pulsabnehmer verschiebbar montiert ist. Mittels Feintrieben, exakten Schlittenaufsätzen und Kugelgelenken kann der Taster in allen Richtungen des Raumes bewegt und fixiert werden. Abb. 5 zeigt den Mundeinsatz am Patienten.

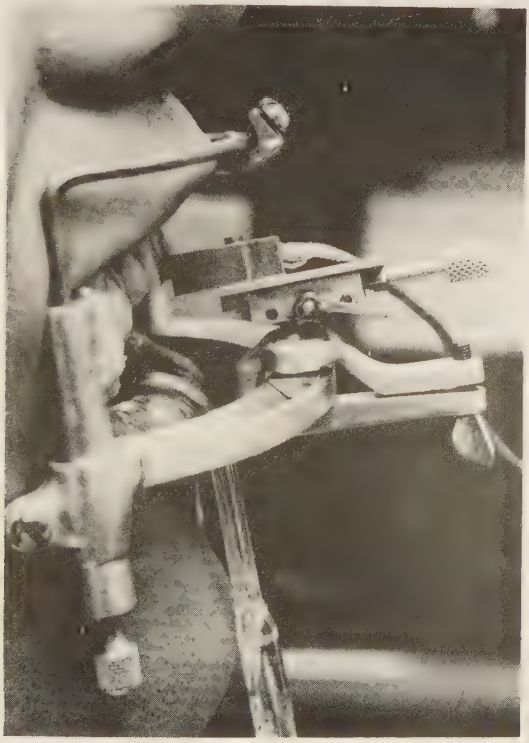


Abb. 5 Trägerschiene zur Messung im Oberkiefer

An der Trägerschiene befindet sich noch ein in vertikaler Richtung individuell einstellbarer Lippenhalter, um störende Einflüsse seitens der Lippenmuskulatur zu vermeiden (Abb. 6).

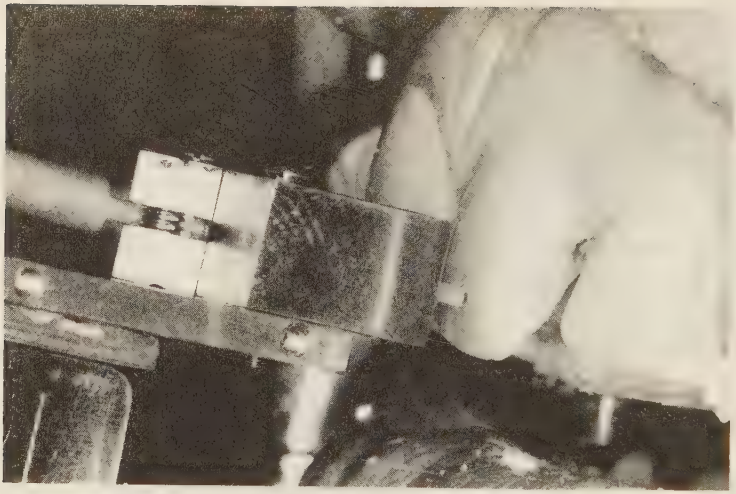


Abb. 6 Lage des Pulsabnehmers bei der Registrierung der horizontalen Zahnbewegung

IV. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Untersuchungsbedingungen

Die Messungen wurden im Oberkiefer bei 52 Probanden (28 männlichen, 24 weiblichen Geschlechts) mit gesunden Parodontien durchgeführt. Das Durchschnittsalter bei den männlichen Probanden betrug 25 Jahre (max. Alter 42, min. Alter 15), bei den weiblichen Probanden 20 Jahre (max. Alter 39, min. Alter 12). Es wurde streng darauf geachtet, daß nur Probanden mit einem normalen Überbiß und nur solche, die sich keiner kieferorthopädischen Behandlung unterzogen hatten zur Messung herangezogen wurden.

Bei der außerordentlich großen elektronischen Verstärkung ist eine absolut ruhige Lagerung des Patienten Bedingung. Die Probanden saßen während der Messung bequem und entspannt in einem zahnärztlichen Behandlungsstuhl. Eigenschwingungen des Hauses wirkten sich nachteilig aus. Deshalb wurden die meisten Messungen in der Mittagspause oder abends nach Klinikschluß durchgeführt.

Bei jeder Meßserie wurden ca. 50 Pulsperioden aufgezeichnet. Zur Auswertung kamen dann nur die störungsfrei aufgezeichneten Kurven. Registriert wurden

a) der Parodontalpuls
b) die Mikropulsationen der Papille und
c) die Mikropulsationen der marginalen Gingiva.

Im Anschluß an jede Meßreihe wurde bei jedem Probanden der Blutdruck gemessen. Ziel und Zweck war es, mögliche Korrelationszusammenhänge zwischen den Pulsationen und dem Blutdruck herauszufinden.

2. Die horizontalen Pulsationsbewegungen

a) Der Parodontalpuls

Die Abnahme des Parodontalpulses erfolgte an den mittleren oberen Schneidezähnen. Hierzu wurde den Probanden die Trägerschiene so eingesetzt, daß die Saphirnadel des Pulsabnehmers den zu messenden Zahn etwa 1 mm oberhalb dessen Schneidekante, und zwar senkrecht zu seiner Facialfläche berührte (Abb.6). Die Eintauchtiefe der Saphirnadel wurde so gewählt, daß bei der Registrierung der Pulsationen jeweils der maximale Induktionsstrom fließen konnte und somit die optimale Wiedergabe gewährleistet war (Abb. 1).

b) Der papilläre und der marginale Gingivapuls

Die Abnahme des papillären und des marginalen Gingivapulses erfolgte ca. 1 mm oberhalb der Papillenspitze und des Gingivasaumes. Da, wie bereits erwähnt, die eingegipste Schiene einen Außenbügel trägt, auf welchem der Pulsabnehmer verschiebbar montiert ist und mittels Feintrieben auf den Zahn bzw. den Gingivasaum und die Papille in allen Richtungen eingestellt werden kann,

ist man in der Lage, ohne Änderung oder Wechsel des Mundeinsatzes sowohl den Parodontalpuls als auch den Gingivapuls aufzuzeichnen.

3. Die Blutdruckmessung

Die Blutdruckmesssung erfolgte nach dem Prinzip von Riva Rocci in Verbindung mit einem Stethoskop.

4. Auswertungsmethodik

Die aufgezeichneten Schwingungen erfolgten periodisch und zeigten das typische Bild einer Pulsperiode (Abb. 7).

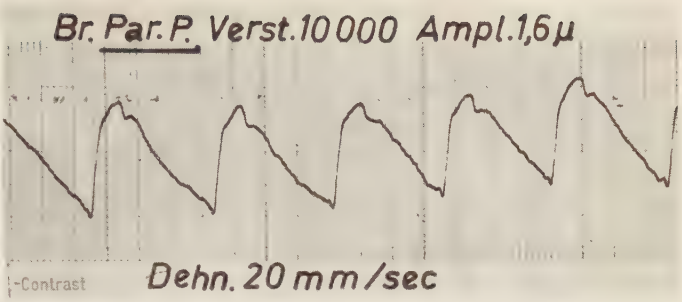
Zur Ermittlung der Durchschnittswerte der uns interessierenden Bestandteile einer jeden Pulsart wurden jeweils fünf Pulskurven herangezogen.

Folgende Kriterien wurden tabellarisch erfaßt:

Die Amplituden des „Systolischen Gipfels"(I), des „Diastolischen Gipfels"(II) und der „Inzisur (III) sowie die Abszissenwerte des jeweiligen „zeitlichen Eintritts" des „Systolischen Gipfels"(IV), der „Inzisur"(V), des „Diastolischen Gipfels"(VI) und diese der „Mittleren Pulsperiodendauer"(VII).
Die Zahlenwerte der genannten Pulskurvenbestandteile wurden in „mm" abgelesen und auch zunächst in „mm" in die Auswertungstabellen eingetragen. Später wurden diese mit Hilfe von selbst aufgestellten sog. „Umrechnungstabellen für vertikale Abweichungen" und „Umrechnungstabellen für Zeitangaben", letztere für die Abszissen-Werte bestimmt, in die absoluten Werte „μ" und „msec" umgerechnet. Die Durchschnittswerte der einzelnen Pulskurvenbestandteile wurden dann aus den absoluten Werten ermittelt und in die entsprechende Rubrik der Auswertungstabelle eingetragen.
Die Abb. 8 zeigt das Muster einer Auswertungstabelle.

a) Parodontalpuls

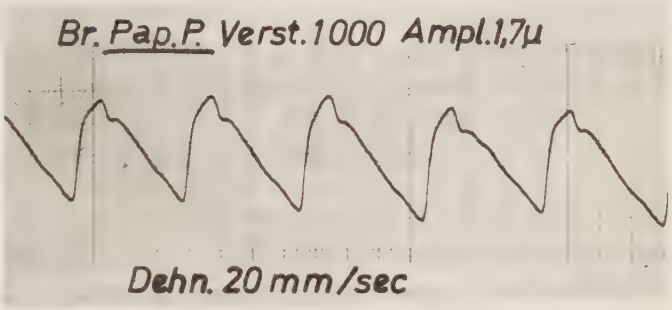
Ampl. 1,6 x 10^{-3} mm



Verst. 10000fach
d.h. 1 mm Ordinate $\hat{=}$ 0,1 x 10^{-3} mm
Vorschub 20 mm/sec.

b) Papillärer Puls

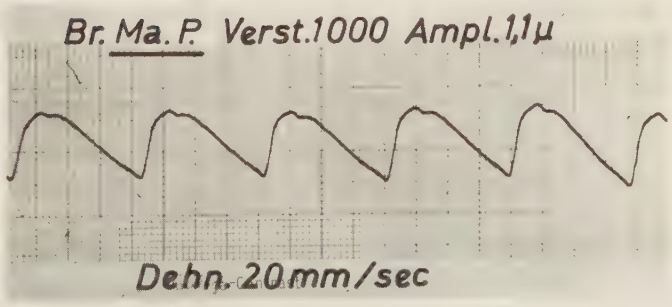
Ampl. 1,7 x 10^{-3} mm



Verst. 1000fach
d.h. 1 mm Ordinate $\hat{=}$ 1 x 10^{-3} mm
Vorschub 20 mm/sec.

c) Marginaler Puls

Ampl. 1,1 x 10^{-3} mm



Verst. 1000fach
d.h. 1 mm Ordinate $\hat{=}$ 1 x 10^{-3} mm
Vorschub 20 mm/sec.

Abb. 7 Horizontale Pulsperioden ein und desselben Probanden

Parodontalpuls 0 - 3 u 50 mm/sec	Name: Dematti o, Ingrid Alter: 17 Jahre	Geschlecht: weiblich Zeit der Messung: 18 30	Probanden-Nr.: 26/27 (Fortl.Nr./Kenn-Nr.)

30 mm ≙ 3 u 1 mm ≙ 0,1 u		1	2	3	4	5	⊖		
							mm	µ	msec
I	Systolischer Gipfel	13,0 1,3	13,0 1,3	16,0 1,6	13,0 1,3	13,0 1,3	13,6	1,36	/
II	Diastolischer Gipfel	10,5 1,05	10,5 1,05	13,0 1,3	10,0 1,0	8,0 0,8	10,4	1,04	/
III	Inzisur	10,0 1,0	9,0 0,9	12,5 1,25	9,5 0,95	8,0 0,8	9,8	0,98	/
IV	Zeitl.Eintr. des Systol.Gipfels	9,0 180	9,0 180	8,0 160	10,5 210	6,0 120	8,5	/	170
V	Zeitl.Eintr.der Inzisur	13,5 270	16,0 320	14,0 280	15,5 310	17,0 340	15,2	/	304
VI	Zeitl.Eintr. des Diastol.Gipfels	17,0 340	19,5 390	15,5 310	18,5 370	19,5 390	18,0	/	360
VII	Mittlere Pulsperiodendauer	33,5 670	35,0 700	34,0 680	36,5 730	34,5 690	34,7	/	694

Abb.8 Auswertungstabelle

5. Statistische Auswertung der Versuchsreihen

Es ist üblich, die statistische Berechnung zunächst nach der Frage der Mittelwerte einzuleiten. Zu diesem Zweck wird im allgemeinen das arithmetische Mittel ($\bar{x}$) angegeben, das aus der Summe der jeweiligen Einzelwerte ($x_1, x_2 \ldots$) dividiert durch die Anzahl dieser Werte (N) entsteht:

$$\text{Arithmetischer Mittelwert } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 \ldots + x_N}{N}$$

Die mittlere Abweichung (s) oder Standardabweichung wird auf das arithmetische Mittel bezogen und charakterisiert die Ausbreitung oder Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Ist diese Standardabweichung im Verhältnis zu den gemessenen Werten sehr groß, so besagt sie, daß eine große Streuung der Einzelwerte um den arithmetischen Mittelwert vorliegt. Diese Standardabweichung wird einmal berechnet aus der Summe der Quadrate der Einzelwerte minus dem arithmetischen Mittel, multipliziert mit der Summe der Einzelwerte, dividiert durch N−1; aus dem gesamten Wert wird nun noch die Quadratwurzel gezogen, somit ist also die

$$\text{Standardabweichung } s = \pm \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x}\Sigma x_i}{N - 1}}$$

Die ermittelten Zahlenwerte einer jeden Pulsation könnten nun von Zufällen beeinflußt werden, so daß diese Werte unterschiedlich sind von der Grundgesamtheit aller entsprechenden Pulsationen. Je stärker also die Streuung ist, um so stärker werden auch die Pulskurvenergebnisse davon beeinflußt sein. Die Streuung des Mittelwerts gibt nun die Grenzen an, innerhalb derer das arithmetische Mittel der Grundgesamtheit zu suchen wäre. Aus diesem Grunde wird nun die Streuung des Mittelwerts ($s_{\bar{x}}$) aus der Standardabweichung, dividiert durch die Quadratwurzel aus der Anzahl der Einzelmessungen, berechnet:

$$\text{Standardabweichung des Mittelwerts } s_{\bar{x}} = \pm \frac{s}{\sqrt{N}} = \pm \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x}\Sigma x_i}{N\,(N-1)}}$$

Das arithmetische Mittel ($\bar{x}$), die Standardabweichung der Einzelwerte (s) und die Streuung des Mittelwerts ($s_{\bar{x}}$) des „Systolischen und Diastolischen Gipfels", der „Inzisur", sowie des „zeitlichen Eintritts" des „Systolischen Gipfels", der „Inzisur", des „Diastolischen Gipfels" und der „Mittleren Pulsperiodendauer" des Parodontalpulses, des papillären Pulses und dieses der marginalen Gingiva wurden jeweils aus den Tabellen 1, 2 und 3 ermittelt und sind aus der Tabelle 4 ersichtlich.

V. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

a) Der Parodontalpuls

Die Auswertungsergebnisse des Parodontalpulses stützen sich auf eine Versuchsreihe, die bei 46 Probanden durchgeführt wurde. Die Mittelwerte wurden aus jeweils 5 Pulskurven und somit aus insgesamt 230 Pulsperioden ermittelt. Die statistische Bearbeitung zeigt die Tabelle 5.

Die mittlere Amplitude des „Systolischen Gipfels" beträgt demnach 1,362 x 10^{-3}mm, die des „Diastolischen Gipfels" 1,095 x 10^{-3} mm und diese der „Inzisur" 1,033 x 10^{-3} mm.

Der „mittlere zeitliche Eintritt" des „Systolischen Gipfels" bezogen auf 100% der mittleren Pulsperiodendauer erfolgt nach 23,3%, derjenige der „Inzisur" nach 34,6% und der des „Diastolischen Gipfels" nach 43,2%. (Mittlere Pulsperioden - Periodendauer 0,829 Sek.)

b) Der papilläre Puls

Für die Auswertung der papillären Werte wurden ebenfalls 230 Perioden von 46 Untersuchungspersonen herangezogen. Das statistische Ergebnis zeigt die Tabelle 6.

Die mittlere Amplitude des „Systolischen Gipfels" errechnet sich auf 5,003 x 10^{-3} mm, die des „Diastolischen Gipfels" auf 4,339 x 10^{-3} mm, während für die „Inzisur" 4,292 x 10^{-3} mm ermittelt wurden.

Der „mittlere zeitliche Eintritt" des Systolischen Gipfels bezogen auf 100% der mittleren Pulsperiodendauer erfolgte nach 25,1%, derjenige der „Inzisur" nach 35,3% und der des „Diastolischen Gipfels" wurde nach 45,0% der mittleren Periodendauer registriert (0,830 Sek.).

c) Der marginale Puls

Die Ergebnisse der marginalen Mikropulsationen beruhen auf der Auswertung von 220 Perioden bei 44 Probanden.

Die mittleren Amplituden betragen für den „Systolischen Gipfel" 3,256 x 10^{-3} mm, für den „Diastolischen Buckel" 2,964 x 10^{-3} mm und für die „Inzisur" 2,943 x 10^{-3} mm.

Die zeitliche Verlaufsfolge der betreffenden Kriterien sieht folgendermaßen aus:

Bei einer mittleren Periodendauer von 0,813 Sek. tritt das systolische Amplitudenmaximum nach 26,4%, die Inzisur nach 35,8% und der diastolische Gipfel nach 46,9% der Gesamtzeit ein.

In der Tabelle 7 sind wiederum die statistischen Auswertungsergebnisse zusammengefaßt.

In der folgenden Abbildung 9 haben wir versucht, aus den berechneten Mittelwertsergebnissen sogenannte Mittelwertsperioden des parodontalen, marginalen und papillären Pulses aufzuzeichnen. Für die Darstellung wurde eine Vorschubbewegung von 100 mm/sec und ein vertikaler Maßstab von 1:20000 gewählt.

Bei allen 3 Pulsarten sind der „Systolische Gipfel", die „Inzisur" und der „Diastolische Gipfel" dargestellt. Die Amplitudenwerte genannter Pulskurvenbestandteile liegen beim Parodontalpuls am niedrigsten. Es folgen mit wachsenden Amplituden der Marginale Puls und schließlich der Papilläre Puls, der die höchsten Amplitudenwerte des „Systolischen Gipfels", der „Inzisur" und des „Diastolischen Gipfels" aufzuweisen hat.
Zahlenmäßig ausgedrückt ist die Amplitude des „Systolischen Gipfels" beim Parodontalpuls $1{,}362 \times 10^{-3}$ mm, beim Marginalen Puls $3{,}256 \times 10^{-3}$ mm und beim Papillären Puls $5{,}003 \times 10^{-3}$ mm hoch. Analog gilt für die „Inzisur" beim Parodontalpuls der Amplitudenwert von $1{,}033 \times 10^{-3}$ mm, beim Marginalen Puls $2{,}943 \times 10^{-3}$ mm und beim Papillären Puls $4{,}292 \times 10^{-3}$ mm. Die Amplitudenwerte des „Diastolischen Gipfels" beim Parodontalpuls liegen bei $1{,}095 \times 10^{-3}$ mm, beim Marginalen Puls bei $2{,}964 \times 10^{-3}$ mm und beim Papillären Puls bei $4{,}339 \times 10^{-3}$ mm.

Die „zeitlichen Eintritte" des „Systolischen Gipfels", der „Inzisur", des „Diastolischen Gipfels" und die der „Mittleren Pulsperiodendauer" aller 3 Pulsationen ergaben bei der Auswertung geringe zeitliche Unterschiede. Diese Unterschiede konnten jedoch statistisch nicht einwandfrei gesichert werden; sie müssen als Ablesungsfehler betrachtet werden. Setzt man für die Pulsperiodendauer 0,83 sec. = 100%, so erfolgt der „zeitliche Eintritt" des Systolischen Gipfels nach 0,20 sec. $\hat{=}$ 24,9%, derjenige der Inzisur nach 0,29 sec. $\hat{=}$ 35,2% und der „zeitliche Eintritt" des Diastolischen Gipfels wird nach 0,37 sec. $\hat{=}$ 45,0% erreicht. Aus diesen Angaben wurden die Mittelwertspulsperioden schematisch aufgezeichnet.

d) Die Blutdruckmessung

Der Blutdruck wurde im Anschluß an jede Meßreihe bei jedem Probanden gemessen. Die Meßergebnisse sind aus der Tabelle 8 ersichtlich; sie sind getrennt nach Geschlecht angeordnet und geben gleichzeitig Aufschluß über die altersmäßige Zusammensetzung der Probanden.

e) Die Beziehungen zwischen Blutdruck und Pulsperiode

Die Vermutung lag nahe, daß zwischen dem Blutdruck einerseits und den entsprechenden Abschnitten der gemessenen Pulsationen andererseits Korrelationszusammenhänge bestehen könnten. Deshalb wurde abschließend der ermittelte Blutdruck mit den jeweils drei Pulsationen Parodontalpuls, Papillärer Puls und Marginaler Puls tabellarisch dargestellt (Tabellen 9, 10, 11) und auf eine mögliche Korrelation hin getestet.

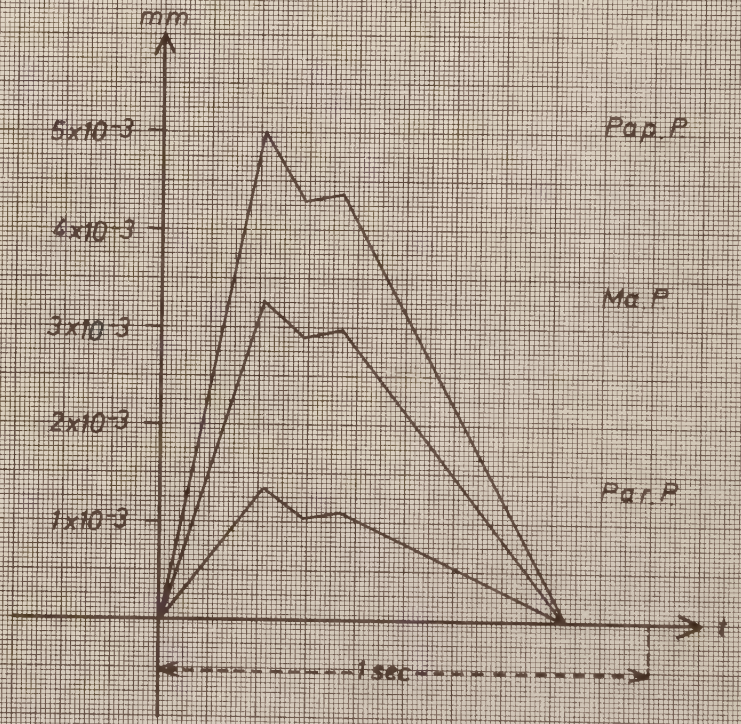


Abb. 9 Mittelwertskurven (schematisch)

des Parodontalpulses (Par.P.)
des Papillären Pulses (Pap.P.)
des Marginalen Pulses (Ma.P.)

Vergrößerungsmaßstab 1:20000
Vorschubbewegung 100 mm/sec

Dabei wurden zunächst die Korrelationskoeffizienten r berechnet (siehe Anm.). Diese ergaben folgende Zahlenwerte:

Parodontalpuls-Systole	$r_{(PS)}$	=	−0,111
Parodontalpuls-Diastole	$r_{(PD)}$	=	0,001
Papillärer Puls - Systole	$r_{(PapS)}$	=	0,337
Papillärer Puls - Diastole	$r_{(PapD)}$	=	0,271
Marginaler Puls - Systole	$r_{(MS)}$	=	0,365
Marginaler Puls - Diastole	$r_{(MD)}$	=	0,113

Anm.: Der Korrelationskoeffizient r ist der Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen (x) und (y). Er wird berechnet wie folgt:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})\,(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{Kovarianz (x,y)}}{\sqrt{\text{Varianz(x)} \cdot \text{Varianz (y)}}}$$

und ist somit der Quotient von der Kovarianz (x,y) dividiert durch die Wurzel der Einzelvarianzen (x) und (y).

x = systolischer Blutdruck
y = systolischer Gipfel

Die Korrelationskoeffizienten r wurden im Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen nach folgenden Quellen berechnet:

1) Prof. Dr. Phil. Habil. Erna Weber:
„Grundriss der biologischen Statistik"

2) Dr. rer. nat. Erwin Kreyszig:
„Statistische Methoden und ihre Anwendungen"

3) Documenta Geigy:
„Mathematik und Statistik-Wissenschaftliche Tabellen"

Als nächstes wurden die Korrelationskoeffizienten der Hypothese $\rho = 0$ bei obigen Pulsarten getestet * . Dabei zeigte sich, daß diese des Parodontalpulses-Systole und Parodontalpulses-Diastole und auch diese des Papillären und Marginalen Pulses - Diastole gleich Null waren:

$$\rho^*_{(PS)} = \rho^*_{(PD)} = \rho^*_{(PapD)} = \rho^*_{(MD)} = 0$$

Daraus folgt, daß hier eine Korrelation bei einem Signifikanzniveau von $2\alpha = 0{,}05$ mit dem gemessenen Blutdruck nicht besteht. Dagegen zeigte sich beim Testen, daß die Korrelationskoeffinzienten $\rho^*_{(PapS)}$ und $\rho^*_{(MS)}$ signifikant von Null verschieden sind.

$$\rho^*_{(PapS)} \neq 0$$
$$\rho^*_{(MS)} \neq 0$$

Eine Korrelation mit dem Blutdruck ist also bei vorliegender Stichprobe vorhanden.

Die weitere Bearbeitung beschränkte sich daher auf die Regression und Korrelation von $r_{(PapS)}$ und $r_{(MS)}$. Der Test ergab eine hinreichende Linearität * . Die errechneten Gleichungen der Regression lauten:

$$Y_{(PapS)} = -8{,}07940 + 0{,}10639 \cdot x$$
$$Y_{(MS)} = -3{,}75939 + 0{,}05752 \cdot x$$

Schließlich wurden die beiden Regressionskoeffizienten

$$\beta^{(PapS)}_{y/x} \; (b^{(PapS)}_{yx} = 0{,}10639) \text{ und } \beta^{(MS)}_{y/x} \; (b^{(MS)}_{yx} = 0{,}05752)$$

auf Gleichheit getestet **.

Es zeigte sich, daß $b^{(PapS)}_{yx}$ signifikant größer ist als $b^{(MS)}_{yx}$, was besagt, daß die systolischen Abschnitte des Papillären Pulses eine stärkere Korrelation mit dem Blutdruck aufweisen als diese des Marginalen Pulses. Bei beiden handelt es sich um eine relativ schwache Korrelation, da $|r_{(PapS)}| = 0{,}337$ und $|r_{(MS)}| = 0{,}365$ kleiner als 0,5 sind.

---

* Als Signifikanzniveau wurde $2\alpha = 0{,}05$ gewählt (siehe Anm.).

** Es wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0{,}10$ gewählt (siehe Anm.).

Anm.: Signifikanzniveau ist das Synonym für die Irrtumswahrscheinlichkeit α eines statistischen Testes:

α = die Größe der Irrtumswahrscheinlichkeit eines einseitigen statistischen Testes

2α = die Größe der Irrtumswahrscheinlichkeit eines zweiseitigen Testes

Die sich aus dem gemessenen Blutdruck und den Zahlenwerten des systolischen Gipfels ergebenden Regressionsgeraden verlaufen daher in gemäßigten Steigungen. Die Steigungswinkel betragen:

$$\varphi_{(PapS)} \approx 6^\circ\ 4'\ 24''$$

$$\varphi_{(MS)} \approx 3^\circ\ 17'\ 32''$$

Die Schwerpunkte dieser Regressionen liegen beim

Papillären Puls bei $(\bar{x};\bar{y}) = (123{,}28947;5{,}03736)$

und beim

Marginalen Puls bei $(\bar{x};\bar{y}) = (122{,}22222;3{,}27083)$.

Nachfolgende Abbildungen veranschaulichen das hier beschriebene. Sie sind jedoch aus Gründen der besseren Übersicht in einem verzerrten Maßstab dargestellt:

$$1\ \text{mmHg} \mathrel{\hat{=}} 1\ \text{mm} = E(x)$$

$$1 \times 10^{-3}\ \text{mm} \mathrel{\hat{=}} 10\ \text{mm} = E(y)$$

Die Abbildung 10 zeigt die Regressionsgerade zwischen Blutdruck und systolischem Gipfel beim Papillären Puls, die Abbildung 11 zeigt diese beim Marginalen Puls.

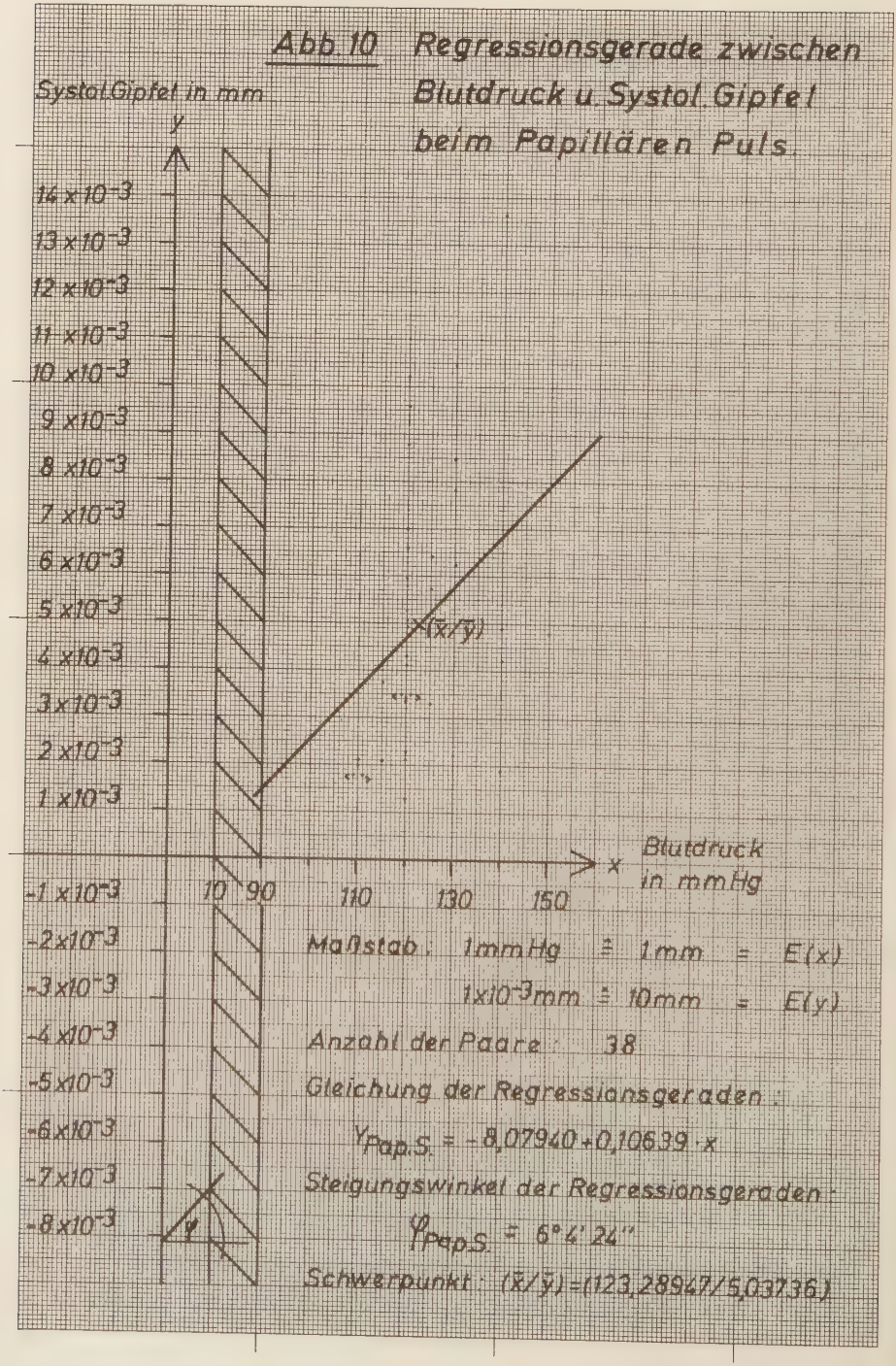
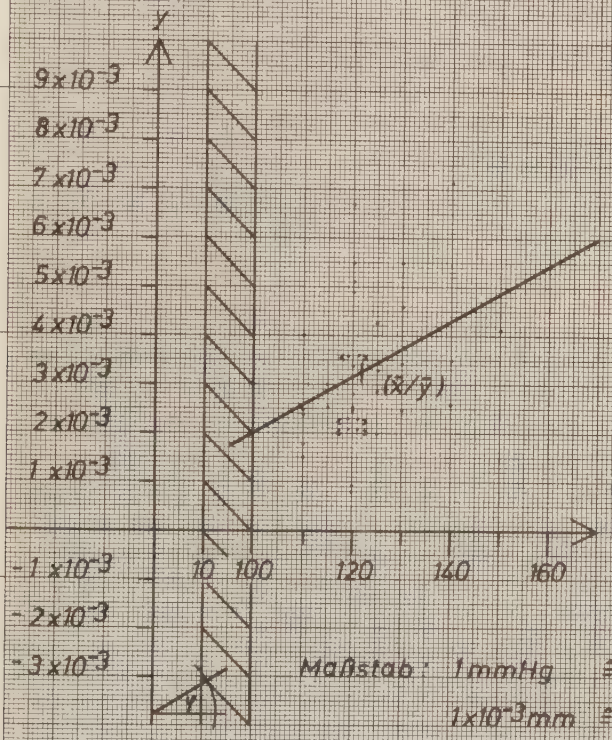


Abb. 10 Regressionsgerade zwischen Blutdruck u. Systol. Gipfel beim Papillären Puls.
Systol.Gipfel in mm
y
14 x 10⁻³
13 x 10⁻³
12 x 10⁻³
11 x 10⁻³
10 x 10⁻³
9 x 10⁻³
8 x 10⁻³
7 x 10⁻³
6 x 10⁻³
5 x 10⁻³
4 x 10⁻³
3 x 10⁻³
2 x 10⁻³
1 x 10⁻³
-1 x 10⁻³
-2 x 10⁻³
-3 x 10⁻³
-4 x 10⁻³
-5 x 10⁻³
-6 x 10⁻³
-7 x 10⁻³
-8 x 10⁻³
(x̄/ȳ)
x
Blutdruck in mmHg
10
90
110
130
150
Maßstab: 1mmHg ≙ 1mm = E(x)
1x10⁻³mm ≙ 10mm = E(y)
Anzahl der Paare: 38
Gleichung der Regressionsgeraden:
Y Pap.S. = -8,07940+0,10639 ·x
Steigungswinkel der Regressionsgeraden:
φ Pap.S. = 6°4' 24''
Schwerpunkt: (x̄/ȳ)=(123,28947/5,03736)

Abb. 11 **Regressionsgerade zwischen Blutdruck u. Systol. Gipfel beim Marginalen Puls.**



Maßstab: 1 mmHg ≙ 1 mm = E(x)

1×10^{-3} mm ≙ 10 mm = E(y)

Anzahl der Paare: 36

Gleichung der Regressionsgeraden:

$$Y_{M.S.} = -3{,}75939 + 0{,}05752 \cdot x$$

Steigungswinkel der Regressionsgeraden:

$$\varphi_{M.S.} = 3°17'32''$$

Schwerpunkt: $(\bar{x}/\bar{y}) = (122{,}22222/3{,}27083)$

VI. DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Anhand von 680 Pulsperioden des parodontalen Gefäßsystems, der Papille und der marginalen Gingiva, die nach der Methode von *M. Hofmann / R. Diemer (10, 12)* bei 52 Probanden mit gesundem Zahnhalteapparat registriert wurden, wurden die Mittelwerte folgender Pulskriterien ermittelt:

Systolischer Gipfel
Inzisur
Diastolischer Gipfel

Zeitl. Eintritt des Systolischen Gipfels
der Inzisur
des Diastolischen Gipfels
Mittlere Pulsperiodendauer

Außerdem sollte versucht werden festzustellen, ob eine Korrelation zwischen Blutdruck und der Amplitude des Systolischen Gipfels besteht.

a) Parodontalpuls

Der Parodontalpuls gleicht formoszillographisch einem arteriellen, herznahen Volumenpuls, der etwa dem der Arteria carotis entspricht. Die Gegenüberstellung eines zentralen, von der oberen Körperhälfte stammenden, arteriellen Pulses nach *v. Recklinghausen (30)* mit einem Parodontalpuls veranschaulicht die Abbildung 12.

„Ebenso wie dem Karotispuls gehen dem Parodontalpuls eine, manchmal auch zwei Vorschwingungen voraus. Die erste Vorschwingung entspricht der Vorhofkontraktion und überlagert sich als eine flache, ausgeschwungene Welle dem diastolischen Abfall der vorausgegangenen Pulsperiode. Die zweite Vorschwingung war relativ selten zu beobachten. Sie kommt durch die Vorwölbung der noch geschlossenen Aortenklappen während der Ventrikelkontraktion zustande. Der Hauptanstieg des Parodontalpulses ist steil. Häufig findet sich vor dem Systolischen Gipfel eine anakrote Schulter. Vom Gipfel fällt die Kurve nicht geradlinig zur Klappeninzisur ab, sondern meistens über eine katakrote Schulter (Systolisches Plateau nach Marey). Ihr Zustandekommen ist noch nicht eindeutig geklärt. Man nimmt an, daß es sich entweder um reflektierte Wellen aus der Aorta *(Frank (4))* oder um eine positive Schwingung einer stehenden Welle handelt *(v. Recklinghausen (30)).* Die Klappenschlußinzisur ist in der Regel deutlich ausgeprägt, erscheint hin und wieder gedämpfter als bei der Karotis und liegt etwa in der Höhe 1/3 von der Gesamtamplitude vom Systolischen Gipfel entfernt. An die Inzisur schließt sich der diastolische Kurventeil an, der mit einem „Buckel" beginnt (Nebenschlag), welcher als Ausdruck der arteriellen Grundschwingung angesehen werden kann und als Dikrotie bezeichnet wird. Der weitere Verlauf der Pulskurve ist noch teilweise von kleinen Nachschwingungen überlagert" *(2).* Die folgende Abbildung 13 zeigt Parodontalpulse verschiedener Probanden.

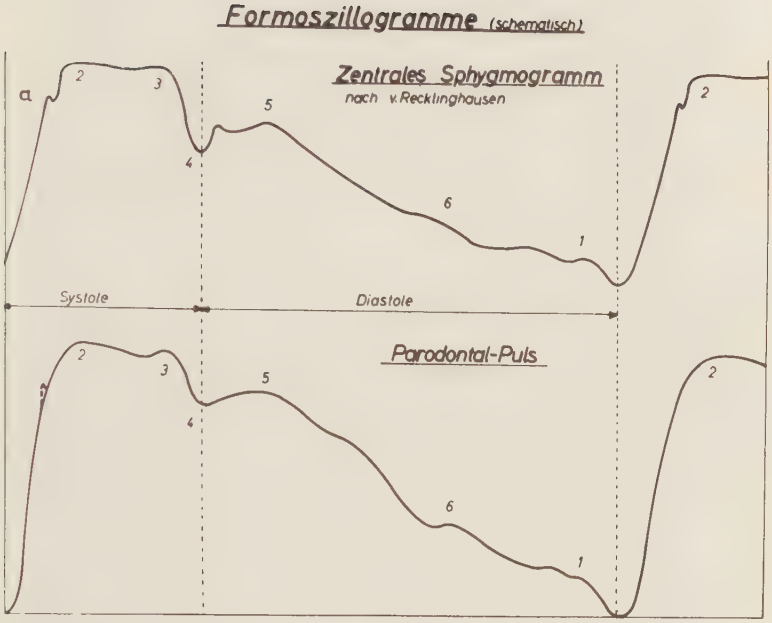


Abb. 12

1 Vorschwingung
a anakrote Schulter
2 Systolischer Gipfel
3 katakrote Schulter
4 Klappenschlußinzisur
5 diastolischer Buckel (Nebenschlag), Dikrotie
6 Nachschlag

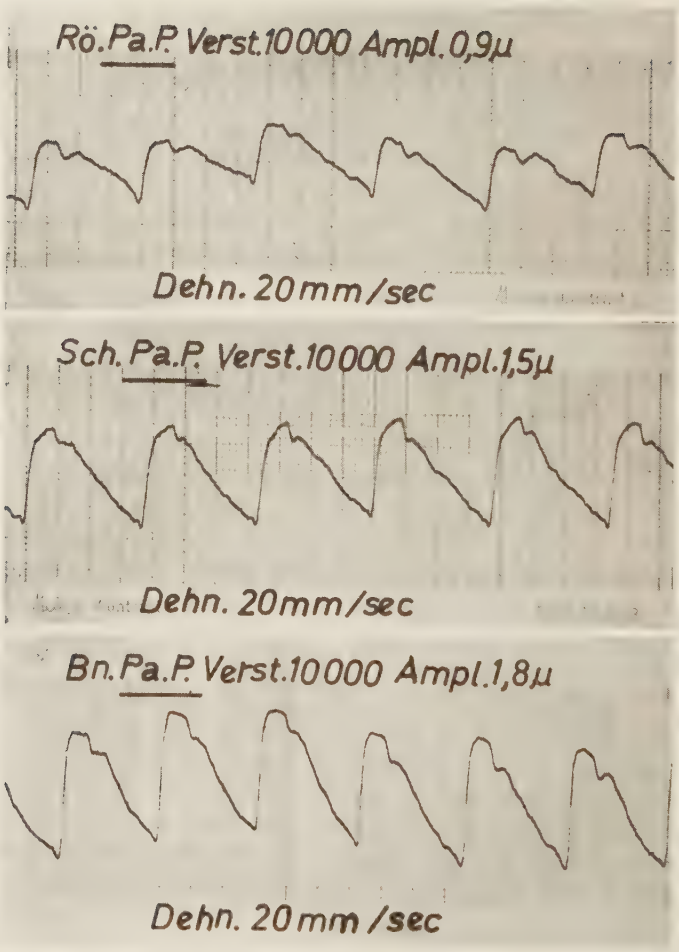


Abb. 13

Parodontalpulse oberer mittlerer Schneidezähne von drei Probanden.
Verst. 10000fach; Dehnung 20 mm/sec.

Als Mittelwerte der einzelnen Pulskriterien des Parodontalpulses wurden folgende Werte ermittelt:

Amplituden-Höhe:	Systolischer Gipfel	1,362 x 10^{-3} mm
	Inzisur	1,033 x 10^{-3} mm
	Diastolischer Gipfel	1,095 x 10^{-3} mm
Zeitlicher Eintritt des	Systolischen Gipfels	191,086 msec.
	der Inzisur	283,695 msec.
	des Diastolischen Gipfels	354,760 msec.
Mittlere Pulsperiodendauer		829,326 msec.

b) Papillärer Puls

„Desmodont, Papille und marginale Gingiva werden aus der gleichen Stammarterie, im Oberkiefer die Arteria infra-orbitalis bzw. ihren Abzweigungen, den Rami alveolares superiores, versorgt. Bei der Plethysmographie des papillären und des marginalen Gingivapulses werden ähnliche Pulsbilder wie beim Parodontalpuls erwartet. Im Gegensatz zum Parodontalpuls weist jedoch der Papillenpuls eine wesentliche Dämpfung auf (Abb. 14a). Vorschwingung und Anfangsschwingung fehlen. Die Übergänge sind abgerundeter, Plateaubildung kann angedeutet hin und wieder beobachtet werden, ebenso die Inzisur. In dieser Form gleicht er in etwa dem Ohrpuls. Die Amplitude kann gegenüber dem Parodontalpuls bis zum Fünffachen erhöht sein" *(11)*.

Als Mittelwerte der einzelnen Pulskriterien des Papillären Pulses wurden folgende Werte ermittelt:

Amplituden-Höhe:	Systolischer Gipfel	5,003 x 10^{-3} mm
	Inzisur	4,292 x 10^{-3} mm
	Diastolischer Gipfel	4,339 x 10^{-3} mm
Zeitlicher Eintritt des	Systolischen Gipfels	206,478 msec.
	der Inzisur	288,413 msec.
	des Diastolischen Gipfels	371,086 msec.
Mittlere Pulsperiodendauer		830,500 msec.

c) Marginaler Puls

„Während der Papilläre Puls im großen und ganzen ein relativ einheitliches Bild zeigt mit entsprechend peripherem Charakter, weist der Puls der marginalen Gingiva erhebliche Formunterschiede auf (Abb. 14b). Teilweise findet man noch Anzeichen arterieller Pulsation, überwiegend herrscht aber die detailarme, typisch abgerundete Form eines peripheren Endpulses vor. Vielfach ist keinerlei auch nur grobe Übereinstimmung mit dem dazugehörigen Parodontalpuls zu erkennen" *(11)*. *M. Hofmann (11)* registrierte sogar marginale Pulsformen, welche die abgerundete, integrierte Form aufwiesen, wie sie bei endangitischen und arteriosklerotischen Prozessen beschrieben werden. Bei einer Frau mittleren Alters mit beginnender Alveolaratrophie ohne entzündliche Komponente fand *M. Hofmann (11)* eine nahezu gleich-

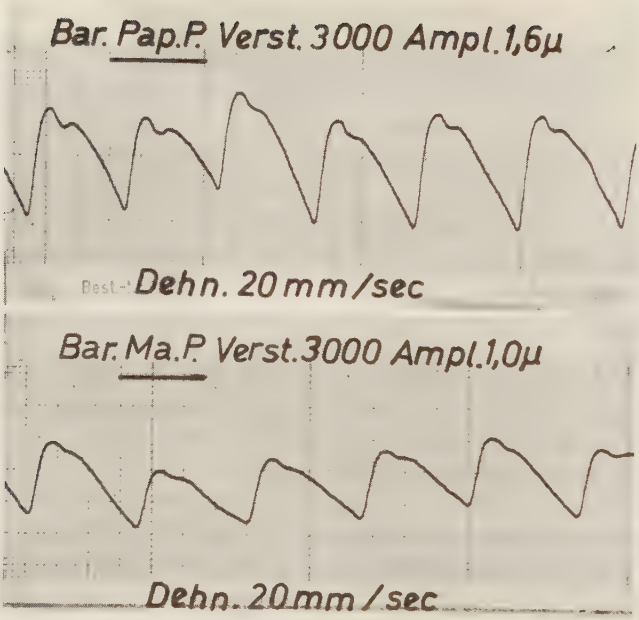


Abb. 14

a (oben): Papillärer Puls eines jungen Mannes bei gesunden parodontalen Verhältnissen, registriert im Oberkiefer zwischen + 12. Peripherer Puls mit mehr oder weniger starken Dämpfungen.

b (unten): Volumenpuls der marginalen Gingiva desselben Probanden. Detailarmer peripherer Endpuls.

schenklige Dreiecksform. Der Gipfelpunkt ist nicht abgerundet, sondern winkelig, keinerlei Andeutung einer Dikrotie. Auch die Amplituden schwanken erheblich. Der niedrigste gemessene Wert betrug 0,83 x 10^{-3} mm, der höchste 8,40 x 10^{-3} mm (Mittelwerte aus jeweils 44 Pulskurven). Die Abbildung 15 zeigt marginale Plethysmogramme verschiedener Probanden.

Als Mittelwerte der einzelnen Pulskriterien des Marginalen Pulses wurden folgende Werte ermittelt:

Amplituden-Höhe:	Systolischer Gipfel	3,256 x 10^{-3} mm
	Inzisur	2,943 x 10^{-3} mm
	Diastolischer Gipfel	2,964 x 10^{-3} mm
Zeitlicher Eintritt	des Systolischen Gipfels	213,840 msec.
	der Inzisur	289,909 msec.
	des Diastolischen Gipfels	378,454 msec.
Mittlere Pulsperiodendauer		818,340 msec.

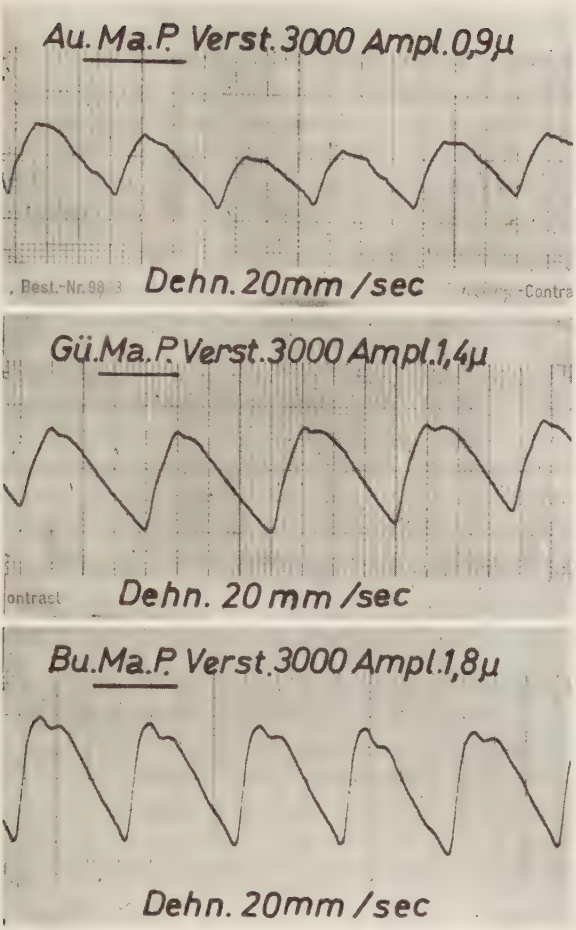


Abb. 15 Volumenpulsformen der gesunden marginalen Gingiva verschiedener Probanden unterschiedlichen Alters.

Die „zeitlichen Eintritte" des Systolischen Gipfels, der Inzisur, des Diastolischen Gipfels und die Mittlere Pulsperiodendauer des Parodontalpulses, des Papillären und des Marginalen Pulses zeigen geringe zeitliche Unterschiede. Wir untersuchten mit Hilfe des Friedman-Testes* abhängiger Stichproben die Abweichungen jeweils entsprechender Mittelwerte. Dabei zeigte sich, daß bei folgenden Meßwerten keine Unterschiede der Mittelwerte bestehen:

---

* Als Signifikanzniveau wurde $2\alpha = 0{,}10$ gewählt.

1) Parodontalpuls — Papillärer Puls
2) Papillärer Puls — Marginaler Puls und
3) Parodontalpuls — Marginaler Puls
beim „zeitl. Eintritt der Inzisur" und

4) Parodontalpuls — Papillärer Puls
5) Papillärer Puls — Marginaler Puls und
6) Parodontalpuls — Marginaler Puls
bei der „Mittleren Pulsperiodendauer".

Dagegen war der Friedman-Test*

1) beim „zeitl. Eintritt des Systol. Gipfels" und
2) beim „zeitl. Eintritt des Diastol. Gipfels"

inhomogen.

Beim entsprechenden Vergleich mit Hilfe des Wilcoxon-Testes* zeigt sich hierbei, daß

1) Parodontalpuls — Marginaler Puls und
2) Parodontalpuls — Papillärer Puls
beim „zeitl. Eintritt des Systol. Gipfels" und

3) Parodontalpuls — Marginaler Puls und
4) Parodontalpuls — Papillärer Puls
beim „zeitl. Eintritt des Diastol. Gipfels"

sich signifikant voneinander unterscheiden, während bei

1) Marginalen Puls — Papillären Puls
beim „zeitl. Eintritt des Systol. Gipfels" und beim

2) Papillären Puls — Marginalen Puls
beim „zeitl. Eintritt des Diastol. Gipfels"

keine wesentlichen Unterschiede der Mittelwerte festgestellt werden konnten.

Da aber bei homogenen Werten der „Inzisur" und der „Mittleren Pulsperiodendauer" aller drei Pulsarten auch die entsprechenden Mittelwerte des Systolischen und Diastolischen Gipfels übereinstimmen müssen, können wir annehmen, daß das ganze System bezüglich der „zeitlichen Eintritte" in sich homogen ist, und daß die Unterschiede rein zufällig und somit als Ablesungsfehler zu werten sind.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde der gemessene Blutdruck mit den jeweils entsprechenden systolischen und diastolischen Werten der drei Pulsarten „Parodontalpuls", „Papillärer Puls" und „Marginaler Puls" auf eine mögliche Korrelation hin getestet. Wie das Ergebnis ergab, besteht eine Korrelation des ermittelten Blutdrucks mit den Werten des Parodontalpulses nicht. Dasselbe gilt für die diastolischen Abschnitte des Papillären und Marginalen Pulses. Dagegen konnte eine relativ schwache Korrelation zwischen dem Blutdruck und den systolischen Abschnitten des Papillären und Marginalen Pulses festgestellt werden.

---

* Als Signifikanzniveau wurde $2\alpha = 0{,}10$ gewählt.

Die Frage nach einem Zusammenhang zwischen den ermittelten Amplitudenhöhen der drei Pulsarten und dem Ergebnis des Korrelationstestes ist damit angeschnitten. Es besteht ein Grund zu der Annahme, daß ein solcher Zusammenhang besteht, da einerseits die Amplitudenhöhen der systolischen Gipfel von „Papillären Puls", „Marginalen Puls", „Parodontalpuls" in genannter Reihenfolge abnehmen, während gleichzeitig der systolische Gipfel des „Papillären Pulses" mit dem systolischen Blutdruck von allen drei Pulsarten die stärkste Korrelation, entsprechend der „Marginale Puls" eine sehr schwache und der „Parodontalpuls" schließlich überhaupt keine Korrelation mehr zeigt.

Somit dürften die unterschiedlichen Amplitudenhöhen als Folge einer ungleichen Durchblutung gewertet werden. Die Zahnfleischpapille muß demnach außerordentlich stark, und zwar wesentlich stärker als der marginale Gingivasaum durchblutet sein. Diese Annahme wird gestützt durch die Untersuchungen *E. Fröhlich's (5),* der histologisch belegen konnte, daß die terminale Strombahn in den Papillen die längsten Endkapillaren aufweist. Die parodontalen Gefäße aber müßten der Amplitudenhöhe zufolge die geringste Durchblutungsgröße haben. Da aber eine Korrelation zwischen dem gemessenen Blutdruck und dem „Parodontalpuls" nicht nachzuweisen ist, kann hinsichtlich der Durchblutungsgröße der parodontalen Gefäße keine gesicherte Aussage gemacht werden.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß durchaus die Möglichkeit besteht, die plethysmographischen Darstellungen der einzelnen Pulsarten zur Diagnosestellung und somit auch zur Therapie heranzuziehen, falls weitere Untersuchungen zeigen sollten, daß im Vergleich mit den plethysmographischen Darstellungen der verschiedenartigen Krankheitsbilder des marginalen Parodontiums jeweils typische formoszillographische Veränderungen nachgewiesen werden können.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Physiologie des Parodontiums dar.

Mit Hilfe eines höchstempfindlichen, elektronischen Meßverfahrens wurden bei Oberkieferfrontzähnen, an der Zahnfleischpapille und am marginalen Gingivasaum bei gesunden Parodontien die drei horizontalen Pulsationen Parodontalpuls, Papillärer Puls und Marginaler Gingivapuls registriert und ausgewertet. Insgesamt wurden 680 Pulsperioden aller drei Pulsarten bei ca. 50 Probanden beiderlei Geschlechts untersucht. Es wurden drei Mittelwertskurven aufgestellt. Gleichzeitig wurde der Blutdruck nach der Methode von Riva Rocci gemessen.

Ergebnisse:

Die Mittelwerte der Amplituden des Papillären Pulses, des Marginalen Gingivapulses und des Parodontalpulses unterscheiden sich signifikant voneinander in absteigender Reihenfolge: Die Amplitude des Papillären Pulses, die aus 230 Pulsperioden ermittelt wurde, beträgt 5,003 x 10^{-3} mm, diese des Marginalen Gingivapulses, die aus 220 Pulsperioden ermittelt wurde, beträgt 3,256 x 10^{-3} mm, die Amplitude des Parodontalpulses, die wieder aus 230 Pulsperioden ermittelt wurde, beträgt 1,362 x 10^{-3} mm.

Die unterschiedlichen Amplitudenhöhen beim Papillären Puls und beim Marginalen Gingivapuls dürften als Folge einer ungleichen Durchblutungsgröße gewertet werden. Eine, wenn auch relativ schwache Korrelation mit dem gleichzeitig gemessenen Blutdruck gibt Grund zu dieser Annahme.

Dagegen konnte zwischen dem gemessenen Blutdruck und dem Parodontalpuls eine Korrelation nicht nachgewiesen werden. Deshalb kann hinsichtlich der Durchblutungsgröße der parodontalen Gefäße auch keine gesicherte Aussage gemacht werden.

Formoszillatorisch ist der Parodontalpuls ein klassischer, zentraler, arterieller Volumenpuls, bei dem alle Einzelheiten der komplizierten Hämodynamik nach der Pulswellentheorie von O. Frank und von v. Recklinghausen in der Kurvenform ihren Niederschlag finden.

Das Pulsbild der Papille weist periphere Dämpfungen auf und entspricht etwa dem Ohrpuls.

Der Puls der Marginalen Gingiva ist in den überwiegenden Fällen detailarm und stellt einen peripheren Endpuls dar.

VIII. TABELLARISCHE ZUSAMMENSTELLUNG DER AUSWERTUNGSERGEBNISSE

Tabelle 1 : Parodontalpuls:
Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse der einzelnen Probanden.

Tabelle 2 : Papillärer Puls:
Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse der einzelnen Probanden.

Tabelle 3 : Marginaler Puls:
Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse der einzelnen Probanden.

Tabelle 4 : Parodontalpuls, Papillärer Puls, Marginaler Puls:
Zusammenfassende statistische Auswertungsergebnisse.

Tabelle 5 : Parodontalpuls:
Statistische Auswertung.

Tabelle 6 : Papillärer Puls:
Statistische Auswertung.

Tabelle 7 : Marginaler Puls:
Statistische Auswertung.

Tabelle 8 : Übersicht über die Blutdruckverteilung der Untersuchungspersonen.

Tabelle 9 : Übersicht über die Blutdruckverteilung in Verbindung mit der Parodontalpulsregistrierung.

Tabelle 10 : Übersicht über die Blutdruckverteilung in Verbindung mit der Registrierung des Papillären Pulses.

Tabelle 11 : Übersicht über die Blutdruckverteilung in Verbindung mit der Registrierung des Marginalen Pulses.

Parodontal-puls		I	II	III	IV	V	VI	VII
Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Systol. Gipfel Ampl.in 10^{-3}mm	Diastol. Gipfel Ampl.in 10^{-3}mm	Inzisur Ampl.in 10^{-3}mm	Zeitl. Eintr. des S.G. Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. der Inzisur Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. des D.G. Absz. in msec.	Mittl. Puls-period.-dauer Absz. in msec.
1	1	1,54	1,38	1,35	231	296	347	822
2	2	0,86	0,67	0,61	215	277	350	722
3	3	1,05	0,82	0,76	173	276	315	765
4	4	0,90	0,69	0,53	208	249	346	702
5	5	1,48	1,22	1,22	220	292	388	796
6	6	1,62	1,39	1,39	214	262	320	894
7	7	2,30	2,21	2,13	256	328	392	1148
8	8	0,51	0,50	0,44	224	206	318	976
9	9	0,86	0,60	0,55	206	278	340	642
10	10	0,95	0,92	0,84	210	280	328	994
11	11	0,73	0,57	0,51	206	258	290	692
12	12	2,26	1,89	1,83	208	300	354	950
13	13	0,95	0,67	0,62	240	310	432	954
14	14	1,98	1,47	1,44	210	262	332	698
15	15	1,28	1,02	0,99	214	280	338	884
16	16	1,26	1,00	0,92	220	290	340	882
17	17	2,03	1,53	1,53	210	266	332	700
18	18	1,81	1,45	1,39	203	240	313	750
19	19	1,23	0,96	0,89	226	330	378	902
20	20	2,01	1,51	1,35	238	316	400	1044
21	21	0,62	0,47	0,41	92	274	350	724
22	22	1,48	1,16	1,12	124	296	354	872
23	23	1,10	0,81	0,77	162	306	394	836
24	25	0,99	0,89	0,80	192	298	352	860
25	26	0,97	0,77	0,74	208	262	322	716
26	27	1,36	1,04	0,98	170	304	360	694
27	28	0,69	0,56	0,53	210	268	336	818
28	29	1,74	1,17	0,98	108	250	390	748
29	31	1,91	1,47	1,35	172	334	414	970
30	32	1,90	1,43	1,29	122	310	412	982
31	33	1,55	1,39	1,40	214	280	334	890
32	34	0,68	0,52	0,51	176	304	406	876
33	35	1,35	1,12	1,08	128	268	374	906
34	37	0,92	0,78	0,71	204	260	306	682
35	38	1,13	0,84	0,78	160	298	372	824
36	39	3,49	2,84	2,81	218	306	350	830
37	40	1,82	1,49	1,21	164	276	358	758
38	41	1,52	1,28	1,25	174	246	332	730
39	42	0,70	0,62	0,57	202	272	366	784
40	44	0,84	0,67	0,60	230	354	410	826
41	46	0,56	0,49	0,46	192	274	348	828
42	47	2,80	2,23	2,12	214	316	368	882
43	49	0,85	0,55	0,58	124	284	356	660
44	50	0,41	0,34	0,28	202	250	322	820
45	52	1,96	1,47	1,48	144	282	346	778
46	53	1,72	1,51	1,44	154	282	334	938

Tabelle 1: Parodontalpuls: Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse der einzelnen Probanden.

Papillärer Puls		I	II	III	IV	V	VI	VII
Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Systol. Gipfel Ampl.in 10^{-3}mm	Diastol. Gipfel Ampl.in 10^{-3}mm	Inzisur Ampl.in 10^{-3}mm	Zeitl. Eintr. des S.G. Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. der Inzisur Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. des D.G. Absz. in msec.	Mittl. Puls-period.-dauer Absz. in msec.
1	1	7,00	6,04	6,20	225	271	353	840
2	2	3,56	2,77	2,81	213	277	352	716
3	3	3,53	3,07	3,10	119	259	339	759
4	6	4,09	3,83	3,89	226	286	344	928
5	7	3,73	3,43	3,43	244	308	416	1218
6	8	1,19	1,19	1,06	170	250	365	890
7	9	6,40	5,10	5,20	115	245	355	730
8	10	1,88	1,78	1,78	220	275	355	1025
9	11	6,30	5,21	5,12	200	270	354	696
10	12	8,51	7,52	7,69	202	282	362	922
11	13	2,15	1,82	1,72	242	318	418	1016
12	14	15,30	13,20	11,90	220	270	364	912
13	15	7,79	6,86	7,10	224	296	366	852
14	16	3,30	2,44	2,24	118	258	390	830
15	17	5,81	4,88	4,95	152	270	382	802
16	19	3,37	2,94	3,00	252	326	410	1042
17	20	8,80	6,90	6,10	144	316	428	914
18	22	5,28	4,82	4,69	218	296	384	902
19	23	1,79	1,77	1,68	236	292	366	858
20	24	2,64	2,28	2,24	226	284	350	806
21	25	5,97	5,51	5,41	224	292	368	808
22	26	6,20	5,81	5,81	256	314	388	944
23	27	7,00	6,04	6,30	216	286	346	668
24	28	2,33	2,20	2,15	216	274	366	862
25	29	2,08	1,39	1,25	138	306	406	718
26	31	2,11	1,55	1,45	146	302	398	784
27	32	5,05	4,98	4,92	246	308	392	850
28	33	10,20	9,40	9,10	220	304	392	862
29	34	1,79	1,57	1,56	194	290	346	652
30	35	2,14	1,83	1,85	222	288	368	750
31	36	3,30	3,04	3,07	240	350	415	825
32	37	1,30	1,09	1,15	200	274	354	704
33	38	1,98	1,75	1,75	226	292	376	768
34	39	9,60	9,00	9,20	246	304	366	892
35	40	6,57	5,74	5,05	148	264	346	738
36	42	4,92	4,39	4,49	220	278	338	864
37	43	3,47	3,17	3,14	210	274	342	780
38	44	4,26	3,37	3,50	236	336	408	742
39	46	4,19	3,63	3,80	200	268	356	792
40	47	13,70	10,50	10,60	226	302	374	866
41	48	1,76	1,43	1,27	214	294	346	616
42	49	3,47	3,27	3,14	226	288	388	772
43	50	4,79	3,93	4,19	208	274	350	772
44	51	4,06	3,53	3,47	224	316	390	830
45	52	10,50	8,90	9,10	210	264	336	784
46	53	4,98	4,75	4,72	220	276	362	920

Tabelle 2: Papillärer Puls: Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse der einzelnen Probanden.

Marginaler Puls		I	II	III	IV	V	VI	VII
Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Systol. Gipfel Ampl.in 10^{-3}mm	Diastol. Gipfel Ampl.in 10^{-3}mm	Inzisur Ampl.in 10^{-3}mm	Zeitl. Eintr. des S.G. Absz. in msec.	Zeilt. Eintr. der Inzisur Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. des D.G. Absz. in msec.	Mittl. Puls-period.-dauer Absz. in msec.
1	2	5,54	4,59	5,12	198	280	386	810
2	4	1,49	1,22	1,25	170	300	420	770
3	5	2,87	2,84	2,81	194	284	366	820
4	7	3,00	2,81	2,87	172	276	402	1058
5	8	2,08	1,95	1,95	224	284	360	926
6	9	1,98	1,95	1,82	174	256	338	726
7	10	2,61	2,61	2,51	212	272	374	996
8	11	2,44	2,05	1,95	198	270	362	728
9	13	2,54	2,28	2,28	246	332	420	970
10	14	8,40	7,70	7,40	222	280	366	946
11	15	3,47	3,20	3,23	214	282	398	834
12	16	4,29	3,66	3,66	208	312	406	824
13	17	3,27	2,77	2,87	188	282	392	798
14	19	2,11	1,88	1,88	244	326	402	972
15	20	2,81	2,67	2,38	212	312	440	1022
16	21	2,51	2,24	2,18	210	292	400	784
17	22	2,28	2,31	2,24	218	282	384	958
18	23	2,61	2,31	2,34	236	308	406	790
19	24	3,66	3,27	3,30	228	294	390	784
20	25	6,70	5,94	5,91	216	292	366	732
21	26	4,65	4,32	4,39	250	304	370	988
22	27	5,12	4,29	4,32	216	308	378	704
23	28	3,37	3,23	3,17	206	274	344	822
24	29	2,38	2,01	1,88	196	300	406	714
25	31	2,57	2,24	2,11	196	318	434	770
26	32	2,51	2,51	2,44	230	290	380	860
27	33	4,92	4,49	4,55	244	302	382	830
28	34	1,83	1,57	1,33	218	314	408	622
29	35	0,95	0,86	0,85	216	286	362	794
30	37	0,83	0,90	0,91	214	284	360	748
31	38	4,03	3,83	3,70	232	290	386	782
32	39	3,63	3,76	3,43	250	306	406	858
33	40	2,34	2,31	2,18	180	278	362	782
34	42	3,56	3,00	3,14	200	254	318	714
35	42	2,79	2,61	2,61	212	260	320	774
36	43	1,67	1,63	1,61	245	310	390	755
37	45	1,57	1,48	1,44	220	274	356	734
38	47	7,23	6,27	6,30	232	298	384	902
39	48	2,17	1,79	1,84	206	284	346	650
40	50	4,09	3,66	3,76	220	284	354	818
41	51	2,33	2,35	2,17	216	296	378	760
42	52	5,54	4,98	5,15	198	262	340	740
43	53	3,60	3,43	3,50	210	280	356	858
44	54	2,94	2,65	2,77	218	284	354	780

Tabelle 3: Marginaler Puls: Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse der einzelnen Probanden.

Zusammenfassende statistische Auswertungsergebnisse		Systol. Gipfel Ampl.in 10^{-3} mm	Diastol. Gipfel Ampl.in 10^{-3} mm	Inzisur Ampl.in 10^{-3} mm	Zeitl. Eintr. des Systol. Gipfels Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. der Inzisur Absz. in msec.	Zeitl. Eintr. des Diastol. Gipfels Absz. in msec.	Mittlere Puls-period.-dauer Absz. in msec.
Durchschnitt der Einzelwerte ($\bar{x}$)	Parodontal-puls	1,362	1,095	1,033	191,086	283,695	354,760	829,326
	Papillärer Puls	5,003	4,339	4,292	206,478	288,413	371,086	830,500
	Marginaler Puls	3,256	2,964	2,943	213,840	289,909	378,454	818,340
Standart-abweichung der Einzelwerte (s)	Parodontal-puls	±0,636	±0,525	±0,520	±37,958	±27,811	±32,123	±111,576
	Papillärer Puls	±3,190	±2,719	±2,656	±37,193	±22,209	±24,686	±110,954
	Marginaler Puls	±1,603	±1,409	±1,431	±20,238	±17,909	±27,916	±100,238
Streuung der Mittelwerte ($s_{\bar{x}}$)	Parodontal-puls	±0,093	±0,077	±0,076	± 5,596	± 4,100	± 4,736	±16 ,451
	Papillärer Puls	±0,470	±0,400	±0,391	± 5,476	± 3,274	± 3,639	±16, 360
	Marginaler Puls	±0,241	±0,212	±0,215	± 3,051	± 2,699	± 4,208	±15 ,112

Tabelle 4: Parodontalpuls, Papillärer Puls, Marginaler Puls: Zusammenfassende statistische Auswertungsergebnisse.

Art der Untersuchungen			I Systolischer Gipfel	II Diastolischer Gipfel	III Inzisur	IV Zeitlicher Eintritt des Systol. Gipfels	V Zeitlicher Eintritt der Inzisur	VI Zeitlicher Eintritt des Diastol. Gipfels	VII Mittlere Pulsperiodendauer
1	Anzahl der Untersuchungen	N	46	46	46	46	46	46	46
2	Summe der Einzelwerte	Σx_i	62,670	50,380	47,540	8 790,000	13 050,000	16 319,000	38 149,000
3	Durchschnitt der Einzelwerte	$\bar{x}$	1,362	1,095	1,033	191,086	283,695	354,760	829,326
4	Summe der Einzelquadrate	Σx_i^2	3 927,528	2 538,144	2 260,051	77 264 100,000	170 302 500,000	266 303 761,000	1 455 346 201,000
5	Quadrat der Summe der Einzelwerte	$(\Sigma x_i)^2$	103,622	67,611	61,357	1 744 492,000	3 737 034,000	5 835 773,000	32,188 177,000
6		$\Sigma x_i^2 - \frac{1}{N}(\Sigma x_i)^2$	18,241	12,434	12,226	64 857,653	34 805,740	46 436,370	560 216,109
7	Varianz	s^2	0,405	0,276	0,271	1 440,836	773,460	1 031,919	12 449,246
8	Standardabweichung	$s = \pm\sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x}\Sigma x_i}{N-1}}$	0,636	0,525	0,520	37,958	27,811	32,123	111,576
9	Streuung der Mittelwerte	$s_{\bar{x}} = \pm\frac{s}{\sqrt{N}}$	0,093	0,077	0,076	5,596	4,100	4,736	16,451

Tabelle 5: Statistische Auswertung des Parodontalpulses.

Art der Untersuchungen			I Systolischer Gipfel	II Diastolischer Gipfel	III Inzisur	IV Zeitlicher Eintritt des Systol. Gipfels	V Zeitlicher Eintritt der Inzisur	VI Zeitlicher Eintritt des Diastol. Gipfels	VII Mittlere Pulsperiodendauer
1	Anzahl der Untersuchungen	N	46	46	46	46	46	46	46
2	Summe der Einzelwerte	Σx_i	230,140	199,620	197,440	9 498,000	13 267,000	17 070,000	38 203,000
3	Durchschnitt der Einzelwerte	$\bar{x}$	5,003	4,339	4,292	206,478	288,413	371,086	830,500
4	Summe der Einzelquadrate	Σx_i^2	52 964,419	39 848,144	38 982,553	90 212 004,000	176 013 283,000	291 384 900,000	1459469209,000
5	Quadrat der Summe der Einzelwerte	$(\Sigma x_i)^2$	1609,370	1 199,185	1 164,940	2 023 200,000	3 848 573,000	6 361 878,000	32 281 583,000
6		$\Sigma x_i^2 - \frac{1}{N}(\Sigma x_i)^2$	457,970	332,921	317,494	62 069,479	22 137,153	27 423,653	553 931,500
7	Varianz	s^2	10,177	7,388	7,055	1 379,321	493,270	609,414	12 310,922
8	Standardabweichung	$s = \pm\sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x}\Sigma x_i}{N-1}}$	3,190	2,719	2,656	37,139	22,209	24,686	110,954
9	Streuung der Mittelwerte	$s_{\bar{x}} = \pm\frac{s}{\sqrt{N}}$	0,470	0,400	0,391	5,476	3,274	3,639	16,360

Tabelle 6: Statistische Auswertung des Papillären Pulses.

Art der Untersuchungen			I Systolischer Gipfel	II Diastolischer Gipfel	III Inzisur	IV Zeitlicher Eintritt des systol. Gipfels	V Zeitlicher Eintritt der Inzisur	VI Zeitlicher Eintritt des diastol. Gipfels	VII Mittlere Pulsperiodendauer
1	Anzahl der Untersuchungen	N	44	44	44	44	44	44	44
2	Summe der Einzelwerte	Σx_i	143,280	130,420	129,500	9 409,000	12 756,000	16 652,000	36 007,000
3	Durchschnitt der Einzelwerte	$\bar{x}$	3,256	2,964	2,943	213,840	289,909	378,454	818,340
4	Summe der Einzelquadrate	Σx_i^2	20 529,158	17 009,376	16 770,250	88 529 281,000	162 715 536,000	277 289 104,000	1296 504 049,000
5	Quadrat der Summe der Einzelwerte	$(\Sigma x_i)^2$	577,182	472,102	469,252	2 029 641,000	3 711 872,000	6 335 536,000	29 898 057,000
6		$\Sigma x_i^2 - \frac{1}{N}(\Sigma x_i)^2$	110,611	85,526	88,110	17 611,887	13 791,637	33 510,910	432 055,887
7	Varianz	s^2	2,572	1,988	2,049	409,578	320,735	779,323	10 047,811
8	Standardabweichung	$s = \pm\sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x}\Sigma x_i}{N-1}}$	1,603	1,409	1,431	20,238	17,909	27,916	100,238
9	Streuung der Mittelwerte	$s_{\bar{x}} = \pm\frac{s}{\sqrt{N}}$	0,241	0,212	0,215	3,051	2,699	4,208	15,112

Tabelle 7: Statistische Auswertung des Marginalen Pulses.

Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Blutdruck (in mmHg) männlich	Blutdruck (in mmHg) weiblich	Alter männlich	Alter weiblich
1	2	120/60		25	
2	3	120/70		26	
3	4	110/70		22	
4	5	125/75		24	
5	6	120/65		22	
6	7	115/65		23	
7	8	120/80		23	
8	9	125/75		25	
9	10	140/70		23	
10	11	120/90		33	
11	12	130/70		24	
12	13	130/60		21	
13	14	110/60		24	
14	15	130/90		26	
15	16	125/85		26	
16	17	125/65		20	
17	18	110/75		32	
18	19	120/70		24	
19	20	120/70		27	
20	21	110/50		24	
21	22	120/70		27	
22	23		110/70		26
23	24		110/60		14
24	25		120/60		12
25	26		120/80		22
26	27		120/70		17
27	28		120/50		34
28	29		110/70		19
29	31		115/60		12
30	32		120/70		18
31	33		120/70		20
32	34		110/55		14
33	35		120/80		19
34	36		110/60		17
35	37		120/80		21
36	38		110/70		18
37	39		120/80		39
38	40	120/60		15	
39	41		110/70		20
40	42	140/100		26	
41	43		130/70		19
42	44		120/70		22
43	45		120/80		18
44	46	140/70		24	
45	47	140/90		42	
46	48		120/70		17
47	49		120/80		17
48	50	150/100		29	
49	51		125/90		27
50	52	130/70		30	
51	53	120/85		26	

Tabelle 8: Übersicht über die Blutdruckverteilung der Untersuchungspersonen.

Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Blutdruck		Parodontalpuls	
		Systole (mm/Hg)	Diastole (mm/Hg)	Systol. Gipfel (10^{-3}mm)	Diastol. Gipfel (10^{-3}mm)
1	2	120	60	0,86	0,67
2	3	120	70	1,05	0,82
3	4	110	70	0,90	0,69
4	5	125	70	1,48	1,22
5	6	120	65	1,62	1,39
6	7	115	65	2,30	2,21
7	8	120	80	0,51	0,50
8	9	125	75	0,86	0,69
9	10	140	70	0,95	0,92
10	11	120	90	0,73	0,57
11	12	130	70	2,26	1,89
12	13	130	60	0,95	0,67
13	14	110	60	1,98	1,47
14	15	130	90	1,28	1,02
15	16	125	85	1,26	1,00
16	17	125	65	2,03	1,53
17	18	110	75	1,81	1,45
18	19	120	70	1,23	0,96
19	20	120	70	2,01	1,51
20	21	110	50	0,62	0,47
21	22	120	70	1,48	1,16
22	23	110	70	1,10	0,81
23	25	120	60	0,99	0,89
24	26	130	80	0,97	0,77
25	27	120	70	1,36	1,04
26	28	120	50	0,69	0,56
27	29	110	70	1,74	1,17
28	31	115	60	1,91	1,47
29	32	120	70	1,90	1,43
30	33	120	70	1,55	1,39
31	34	110	55	0,68	0,52
32	35	120	80	1,35	1,12
33	37	120	80	0,92	0,78
34	38	110	70	1,13	0,84
35	39	120	80	3,49	2,84
36	40	120	60	1,82	1,49
37	41	110	70	1,52	1,28
38	42	140	100	0,70	0,62
39	44	120	70	0,84	0,67
40	46	140	70	0,56	0,49
41	47	140	90	2,80	2,23
42	49	120	80	0,85	0,55
43	50	150	100	0,41	0,34
44	52	130	70	1,96	1,47
45	53	120	85	1,72	1,51

Tabelle 9: Übersicht über die Blutdruckverteilung in Verbindung mit der Parodontalpulsregistrierung.

Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Blutdruck		Papillärer Puls	
		Systole (mm/Hg)	Diastole (mm/Hg)	Systol. Gipfel (10^{-3}mm)	Diastol. Gipfel (10^{-3}mm)
1	2	120	60	3,56	2,77
2	3	120	70	3,53	3,07
3	6	120	65	4,09	3,83
4	7	115	65	3,73	3,43
5	9	125	75	6,40	5,10
6	10	140	70	1,88	1,78
7	11	120	90	6,30	5,21
8	12	130	70	8,51	7,52
9	13	130	60	2,15	1,82
10	15	130	90	7,79	6,86
11	16	125	85	3,30	2,44
12	17	125	65	5,81	4,88
13	19	120	70	3,37	2,94
14	20	120	70	8,80	6,90
15	22	120	70	5,28	4,82
16	23	110	70	1,79	1,77
17	25	120	60	5,97	5,51
18	26	130	80	6,20	5,81
19	27	120	70	7,00	6,04
20	28	120	50	2,33	2,20
21	29	110	70	2,08	1,39
22	31	115	60	2,11	1,55
23	32	120	70	5,05	4,98
24	33	120	70	10,20	9,40
25	34	110	55	1,79	1,57
26	35	120	80	2,14	1,83
27	37	120	80	1,30	1,09
28	38	110	70	1,98	1,75
29	39	120	80	9,60	9,00
30	40	120	60	6,57	5,74
31	42	140	100	4,92	4,39
32	44	120	70	4,26	3,37
33	46	140	70	4,19	3,63
34	47	140	90	13,70	10,50
35	49	120	80	3,47	3,27
36	50	150	100	4,79	3,93
37	52	130	70	10,50	8,90
38	53	120	85	4,98	4,75

Tabelle 10: Übersicht über die Blutdruckverteilung in Verbindung mit der Registrierung des Papillären Pulses.

Lfd. Nr.	Prob. Nr.	Blutdruck		Marginaler Puls	
		Systole (mm/Hg)	Diastole (mm/Hg)	Systol. Gipfel (10^{-3}mm)	Diastol. Gipfel (10^{-3}mm)
1	2	120	60	5,54	4,59
2	4	110	70	1,49	1,22
3	5	125	70	2,87	2,84
4	7	115	65	3,00	2,81
5	8	120	80	2,08	1,95
6	9	125	75	1,98	1,95
7	10	140	70	2,61	2,61
8	11	120	90	2,44	2,05
9	13	130	60	2,54	2,28
10	15	130	90	3,47	3,20
11	16	125	85	4,29	3,66
12	17	125	65	3,27	2,77
13	19	120	70	2,11	1,88
14	20	120	70	2,81	2,67
15	21	110	50	2,51	2,24
16	22	120	70	2,28	2,31
17	23	110	70	2,61	2,31
18	25	120	60	6,70	5,94
19	26	130	80	4,65	4,32
20	27	120	70	5,12	4,29
21	28	120	50	3,37	3,23
22	29	110	70	2,38	2,01
23	31	115	60	2,57	2,24
24	32	120	70	2,51	2,51
25	33	120	70	4,92	4,49
26	34	110	55	1,83	1,57
27	35	120	80	0,95	0,86
28	37	120	80	0,83	0,90
29	38	110	70	4,03	3,83
30	39	120	80	3,63	3,76
31	40	120	60	2,34	2,31
32	42	140	100	3,56	3,00
33	47	140	90	7,23	6,27
34	50	150	100	4,09	3,66
35	52	130	70	5,54	4,98
36	53	120	85	3,60	3,43

Tabelle 11: Übersicht über die Blutdruckverteilung in Verbindung mit der Registrierung des Marginalen Pulses.

IX. LITERATURVERZEICHNIS

1. *Beyeler, K. u. Dreyfus, J.* — Prinzip einer elektrodynamischen Apparatur zur Messung des Lockerungsgrades der Zähne. Parodontologie **1**, 113 (1947)
2. *Diemer, R.* — Die physiologische Zahnbewegung. Med. Diss. 1965, Tübingen
3. *Frank, O.* — Der Puls in den Arterien. Zschr. Biol. **46**, 441 (1905)
4. *Frank, O.* — Theorie der Pulswellen. Zschr. Biol. **91**, (1926)
5. *Fröhlich, E.* — Die Bedeutung der peripheren Durchblutung des Parodontiums für die Entstehung und Therapie der Zahnbetterkrankungen. Dtsch. zahnärztl. Z. **2**, 153 (1964)
6. *Heinroth, H.* — Klinische Untersuchungen, Kaudruckmessung. Die Fortschritte der Zahnheilkunde, Band I, 110 (1928)
7. *Hofmann, M.* — Das Kraft-Weg(Zeit)-Diagramm in der Periodontometrie. Dtsch. Zahnärztebl., **7**, 143, (1963)
8. *Hofmann, M.* — Zahnbeweglichkeit – Bestimmung und Analyse. Dtsch. zahnärztl. Z. **18**, 924 (1963)
9. *Hofmann, M.* — Zur Oszillographie des Gingivapulses. Dtsch. zahnärztl. Z. **19**, 765 (1964)
10. *Hofmann, M. u. Diemer, R.* — Die physiologische Zahnbewegung. Dtsch. zahnärztl. Z. **21**, 707 (1966)
11. *Hofmann, M. u. Diemer, R.* — Die Plethysmographie der peripheren Strombahnen des Parodontiums. Dtsch. Zahnärztebl., **7**, 698 (1963)
12. *Hofmann, M. u. Diemer, R.* — Die Pulsation des Zahnes. Dtsch. zahnärztl. Z. **18**, 1268 (1963)
13. *Hürthle, K.* — Über tonische und pulsatorische Bewegung der Arterienwand. Pflügers. Arch. f.d.ges. Physiol. 242
14. *Jungmann, H. u. Gadermann, E.* — Klinische Arterienpulsschreibung. Joh. Ambr. Barth-Verlag, München, 1964
15. *Körber, K.H.* — Die elastische Deformierung menschl. Zähne. Dtsch. zahnärztl. Z. **17**, 1585 (1962)
16. *Körber, K.H.* — Elektronisches Messen der Zahnbeweglichkeit. Dtsch. Zahnärztebl., **16**, 605 (1962)

17. *Körber, K.H.* — Untersuchungen zur Physiologie des parodontalen Gefäßsystems. Dtsch. zahnärztl. Z. **18**, 1092 (1963)

18. *v. Kries, L.* — Studien der Pulslehre, Freiburg, 1892

19. *Lundquist, C.* — Objektive parodontale registreringsmetoder. Odont. Revy 7, (1956)

20. *Marey, E.I.* — La circulation du sang. Paris 1881

21. *Matthes, K.* — Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1951

22. *Mühlemann, H.R.* — Die physiologische und pathologische Zahnbeweglichkeit. Schweiz. Mschr. Zahnk. Bd. 61, Nr. 1, 1951

23. *Mühlemann, H.R.* — Die praktische Periodontometrie. Öst. Z. Stomat. 2, 101 (1953)

24. *Mühlemann, H.R. u. Fehr, C.* — Zur Beurteilung des Parodonts mittels Zahnbeweglichkeitsmessung. Dtsch. zahnärztl. Z. **11**, 634 (1956)

25. *Müller, A.* — Physiologie des Coronarkreislaufs. Cardiologia **40**, 62 (1962)

26. *Parfitt, G.J.* — Measurement of the Physiological mobility of Individual Teeth in an Axial Direction. J. dent. Res. **39**, 608 (1960)

27. *Parfitt, G.J.* — The Dynamics of a Tooth in Function. J. Periodont. 32, 102 (1961)

28. *Peterson, L.H.* — Certain physical characteristics of the cardiovascular system. Fed. Proc. **11**, 762 (1962)

29. *Picton, D.C.A.* — A Methode of Measuring Physiological Tooth Movement in Man. J. dent. Res. **36**, 814 (1957)

30. *v. Recklinghausen, H.* — Blutdruckmessung und Kreislauf in den Arterien des Menschen. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig, 1940

31. *Wetterer, E. u. Deppe, B.* — Neuere Fortschritte der physikalischen Schlagvolumenbestimmung. Verk. dtsch. Ges. Kreisl. Forsch.

32. *Werner, V.* — Vergleichende Untersuchungen verschiedener Parodontosebehandlungen mittels einer neuen metrischen Methode. Paradentium **4**, 44 (1942)

33. *Zwirner, E.* Nachweis der Zahnbewegung im Tierversuch.
Dtsch. zahnärztl. Z. **6**, 39 (1951)

34. *Zwirner, E.* Über die Bedeutung einer genauen Kenntnis der Zahnbewegung für Wissenschaft und Praxis.
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. **7**, 297 (1954)

35. *Zwirner, E.* Verwendungsmöglichkeiten des Kathodenstrahloszillographen zu Forschungszwecken in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
Dtsch. zahnärztl. Z. **12**, 794 (1949)

36. *Zwirner, E.* Zum Messen der Zahnbeweglichkeit am Lebenden.
Zahnärztl. Welt **10**, 4 (1955)

Zum Schluß erlaube ich mir, Herrn Priv. Doz. Dr. M. Hofmann für die Überlassung des Themas und für die Anleitungen zu der Arbeit herzlich zu danken.

Herrn Professor Dr. Dr. E. Fröhlich danke ich für die zweite Berichterstattung.

Frau Professor Dr. P. M. Geppert und Herrn Dr. R. Rietsch gilt mein Dank für die Beratungen in statistischen Fragen.

Lebenslauf

Am 24. Mai 1937 wurde ich, Harald Josef Doms, als Sohn des Zahnarztes Josef Doms und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Morawek in Reichenberg/Sud. geboren.

Von 1943 bis 1945 besuchte ich die deutsche, von 1945 bis 1949 die tschechische Volksschule in Böhmisch Leipa. 1949 wechselte ich in das tschechische Gymnasium in Gablonz a.d.Neiße über. Meine weitere Gymnasialzeit verbrachte ich in Hechingen/Hohenzollern, Horb/Neckar, Tuttlingen und in Gaienhofen/Bodensee, wo ich 1959 an der Christlichen Internatsschule Schloß Gaienhofen die Reifeprüfung mit Erfolg bestanden habe.

Mein Studium der Zahnheilkunde begann ich im Sommersemester 1959 an der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen, wo ich im Sommersemester 1962 die Zahnärztliche Vorprüfung und im Wintersemester 1965/66 das Zahnärztliche Staatsexamen ablegte.

Seit dem 1. April 1966 bin ich als Assistenz-Zahnarzt tätig.